EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ, BUCUREȘTI – 1988

Lei 10,30

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI ÎNVĂȚĂMÂNTULUI

TEHNOLOGIA LUCRĂRILOR ELECTROTEHNICE

Manual pentru clasa a IX-a licee industriale și de matematică-fizică, cu profilurile de electrotehnică, matematică-fizică, matematică-electrotehnică, filologie-istorie, istorie-geografie și aeronautică

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI ÎNVĂȚĂMÎNTULUI

Ing. CONSTANȚIU POPESCU

Ing. MIHAI HUHULESCU
profesor

Ing. DRAGOȘ SIMULESCU
profesor

TEHNOLOGIA LUCRĂRILOR ELECTROTEHNICE

Manual pentru clasa a IX-a, licee industriale și de matematică-fizică, cu profilurile de electrotehnică, matematică-fizică, matematică-electrotehnică, filologie-istorie, istorie-geografie și aeronautică

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ, BUCUREȘTI

Manualul constituie o reeditare a ediției din 1981 elaborată conform programei școlare aprobate de Ministerul Educației și Învățămîntului cu nr. 39438/1980

Contribuția autorilor:

Ing. **C. Popescu**: cap. 1, 6, 11

Ing. **M. Huhulescu**: cap. 2, 3, 4

Ing. **D. Simulescu**: cap. 5, 7, 8, 9, 10

Referent: ing. **Florica Dănilă**, profesor

Redactor: ing. *Alexandra Moraru*

Tehnoredactor: *Sanda Dumitrașcu*

Coperta: *V. Wegemann*

Coli de tipar: 8,25
Format: 16/70×100
Plan editură: 19035
Bun de tipar: 9. II. 1988

Tiparul executat la:
ÎNTREPRINDEREA POLIGRAFICĂ CLUJ
Municipiul Cluj-Napoca
B-dul Lenin nr. 146
Republica Socialistă România
C-da nr. 526

CAPITOLUL 1

INTRODUCERE

Datorită calităților deosebite ale energiei electrice în ce privește producerea, transportul și distribuția, cît și multiplelor posibilități de utilizare a acesteia, ea este indispensabilă dezvoltării economice și civilizației moderne, revoluției tehnico-științifice contemporane, îmbunătățirii nivelului de trai al oamenilor. În toate domeniile vieții economice și sociale, electricitatea produce profunde transformări pe linia progresului și civilizației, prin modificarea proceselor tehnologice, mecanizarea și automatizarea în toate domeniile activității omenești, în sistemul de informare, tehnică de calcul, iluminat etc.

Din această cauză, electrificarea și industria electrotehnică au cunoscut în țara noastră, sub conducerea Partidului, o dezvoltare impetuoasă. Directivele Congresului al XIII-lea al Partidului Comunist Român prevăd, printre sarcinile de bază ale dezvoltării economico-sociale în cincinalul 1986—1990 și printre orientările de perspectivă pînă în anul 2 000, dezvoltarea în continuare a producerii de energie electrică și a industriei electrotehnice.

În Raportul prezentat de tovarășul Nicolae Ceaușescu la Conferința Națională a partidului din 14 — 16 decembrie 1987 s-a subliniat că „este necesar să fie luate măsuri hotărîte în vederea folosirii raționale, științifice, a materiilor prime și materialelor, să se respecte neabătut normele de consumuri materiale și energetice, să se acționeze în direcția elaborării de noi tehnologii și măsuri care să conducă la reducerea mai accentuată a acestora".

Producerea energiei electrice se realizează în centrale electrice, prin transformarea unei alte forme de energie (energia chimică a combustibililor, energia potențială a apelor, energia atomică, energia eoliană etc.). De la centrale, energia electrică este transformată pe linii electrice pînă în apropierea marilor consumatori (orașe, platforme industriale etc.), de unde este distribuită la stații de transformare situate cît mai aproape de centrele de greutate ale consumatorilor. De la aceste stații se alimentează posturile de transformare, unde se găsesc racordurile la tablourile de alimentare a receptoarelor.

În funcție de rolul pe care îl îndeplinesc într-un sistem energetic, instalațiile electrice sînt: instalații *de producere* a energiei electrice, instalații *de transport* al energiei electrice, instalații *de distribuție* a energiei electrice și instalațiile electrice *de utilizare* (la consumator).

Caracteristicile de bază ale unei instalații electrice sînt: *puterea* instalației, *sistemul de curent* și *tensiunea nominală*.

Sistemul de curent cel mai utilizat este curentul alternativ trifazat, cu frecvența de 50 Hz. În domenii speciale de utilizează și curent continuu (tracțiune, instalații cu reglaj mare de turație etc.) sau curent alternativ de frecvență mai mare.

Tensiunile nominale între faze standardizate sînt: 380 V; 660 V; 6 kV; 10 kV; 35 kV; 110 kV; 220 kV și 400 kV. Pentru consumatorii monofa-

rați se utilizează tensiunile de 127 V și 220 V. În alte domenii (industrie minieră, tracțiune) se utilizează și alte valori de tensiune.

Pentru fiecare tip de instalație se utilizează tensiunea care conduce la costurile de construcție și exploatare cele mai mici. Astfel, generatoarele din centralele electrice se construiesc pentru tensiuni relativ scăzute (6 și 10 kV). Pentru a se realiza un transport economic al energiei, tensiunea este transformată într-o stație electrică ridicătoare, la 110 kV, 220 kV sau 400 kV, corespunzător liniei de transport. Cu cît tensiunea de transport este mai mare, cu atît consumul de material conductor și pierderea de putere sînt mai mici. La capătul liniei de transport, tensiunea este din nou transformată în stații electrice coborîtoare la 35 kV, de unde este distribuită prin substații și puncte de racordare la posturile de transformare, sub tensiunea de 6 sau 10 kV. Posturile de transformare alimentează consumatorii la tensiunea de 400 V, cea mai convenabilă din punctul de vedere al căderilor de tensiune, al securității omului și al construcției receptoarelor.

Din punctul de vedere al nivelului de tensiune utilizat, instalațiile electrice se împart în *instalații de înaltă tensiune* (peste 1 000 V) și *instalații de joasă tensiune* (sub 1 000 V). Din cele de mai sus se constată că instalațiile electrice de utilizare a energiei electrice sînt instalații de joasă tensiune.

În funcție de utilizarea energiei electrice, instalațiile se clasifică în principal în:

— *instalații electrice de forță* (pentru motoare electrice, cuptoare, mașini de ridicat și transportat etc.);
— *instalații electrice pentru iluminat;*
— *instalații electrice pentru curenți slabi*, cuprinzînd instalații electrice de semnalizare acustică, optică și mixtă, instalații electrice fonice și video (telefonie, radio și televiziune) etc.

Părțile componente principale ale instalațiilor electrice utilizate sînt:
— *postul de transformare;*
— *liniile electrice de joasă tensiune* (aeriene sau subterane);
— *tablourile de distribuție;*
— *aparatele electrice de conectare;*
— *aparatele electrice de comandă și protecție;*
— *mașinile electrice.*

Obiectul „Tehnologia lucrărilor electrotehnice" reprezintă o primă inițiere privind cunoașterea elementelor dintr-o instalație electrică, a viitorilor specialiști din industria electrotehnică.

Obiectul are ca scop, în primul rînd, să asigure cunoașterea unor elemente de circuit ca rezistoare, condensatoare și bobine, a aparatelor de conectare, comandă și protecție a instalațiilor electrice, a elementelor componente ale mașinilor și transformatoarelor electrice, a conductoarelor electrice, a schemelor și montajelor electronice. În al doilea rînd, are ca scop însușirea de către elevi a tehnologiei lucrărilor de instalații electrice, interioare și exterioare, a liniilor electrice aeriene și subterane de joasă tensiune, a tablourilor de distribuție și posturilor de transformare.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. *Care sînt tipurile de instalații electrice dintr-un sistem energetic?*
2. *Care sînt sistemele de curenți și tensiunile nominale utilizate în instalațiile electrice?*
3. *Care sînt părțile componente ale unei instalații electrice de joasă tensiune?*

CAPITOLUL 2

REZISTOARE

A. GENERALITĂȚI

1. DEFINIȚII

Rezistoarele sînt aparate folosite în instalații datorită proprietății de limitare a valorii curentului prin rezistența electrică nominală.

Deoarece în funcționare normală produc o anumită cantitate de căldură, ele pot fi folosite și ca aparate pentru încălzire.

Rezistoarele sînt utilizate în curenți slabi (electronică și automatizări) și în curenți tari (electrotehnică). Uneori rezistoarele sînt denumite impropriu *rezistențe*, ceea ce poate produce confuzii între aparat și proprietatea sa de limitare a valorii curentului.

2. CLASIFICARE

Rezistoarele se pot clasifica după mai multe criterii.

După **materialul folosit:**

— *rezistoare chimice*, folosite în curenții slabi (electronică, telecomunicații);
— *rezistoare cu metal*, folosite atît în curenții slabi, cît și în curenții tari (electrotehnică);
— *rezistoare cu lichid*, folosite pentru pornirea și reglarea motoarelor electrice mari.

După **construcție:**

— *rezistoare fixe*, a căror rezistență nu poate fi modificată;
— *rezistoare variabile*, a căror rezistență poate fi modificată prin deplasarea unui contact. Rezistoarele variabile pot fi realizate cu modificarea rezistenței *în trepte* sau *continuu*. De asemenea, ele pot avea trei borne, putînd fi montate în circuite de reglaj potențiometric (reglajul tensiunii între zero și valoarea nominală).

Rezistoarele variabile pot fi:
— cu *variația liniară a rezistenței* (proporțională cu deplasarea contactului);
— cu *variația logaritmică a rezistenței* (modificarea rezistenței se face logaritmic cu deplasarea contactului).

După **variația rezistenței:**

— *rezistoare liniare*, la care rezistența variază proporțional cu modificarea unui parametru din afară (temperatură);
— *rezistoare neliniare*, la care rezistența variază neproporțional cu modificarea unui parametru din afată (temperatură, tensiune).

3. PARAMETRII NOMINALI

Rezistența nominală (R) este valoarea, în ohmi, pentru care a fost construit rezistorul, măsurată la temperatura de 20°C;

Toleranța admisă față de rezistența nominală este abaterea în plus sau în minus, în procente, rezultată din procesul de fabricație.

Puterea nominală (P_n) este puterea ce poate fi disipată de rezistență fără a se încălzi peste limitele admisibile, în waţi.

Puterea maximă a rezistorului se calculează cu relaţia:

$$P = RI^2[\mathrm{W}], \tag{2.1}$$

în care:

R este rezistența, în Ω;

I — curentul, în A.

Din această relaţie rezultă şi curentul maxim ce poate străbate rezistorul.

Puterea maximă admisibilă este stabilită la o temperatură ambiantă de 20 °C. La creşterea temperaturii ambiante, rezistența proprie a rezistorului liniar creşte conform relaţiei:

$$R_t = R_0[1 + \alpha(t - t_0)], \tag{2.2}$$

în care:

R_t este rezistența la temperatura finală t, în Ω;

R_0 — rezistența la temperatura ambiantă t_0 (20 °C), în Ω;

α — coeficientul de variaţie a rezistenţei cu temperatura (1/K);

t — temperatura finală, în °C;

t_0 — temperatura ambiantă (20 °C).

Datorită acestui fapt, puterea creşte cu temperatura, ceea ce duce la degradarea materialelor din care este confecţionat rezistorul.

În figura 2.1 este reprezentată variaţia cu temperatura a puterii disipate.

Coeficientul de variaţie a rezistenţei cu temperatura (α) constituie altă mărime nominală şi este determinat de materialul folosit pentru confecţionarea rezistorului.

Tensiunea nominală este tensiunea maximă, în volţi, la care poate fi utilizat rezistorul fără să se producă deteriorarea izolaţiei electrice.

Variaţia rezistenţei cu durata de utilizare este un alt element ce caracterizează numai rezistoarele chimice (folosite în curenţii slabi), care se indică în procente faţă de rezistența nominală după 1 000 h de funcţionare la temperatura maximă de utilizare şi puterea nominală.

Coeficientul de tensiune (K_u) indică variaţia rezistenţei rezistorului în funcţie de tensiunea aplicată la borne.

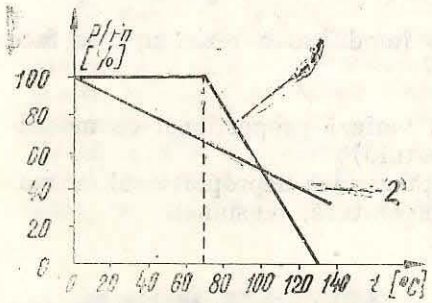


Fig. 2.1. Variaţia puterii disipate de rezistoare în funcţie de temperatură:
1 — rezistoare cu peliculă de grafit; *2* — rezistoare cu fir metalic.

4. REPREZENTAREA CONVENŢIONALĂ A REZISTOARELOR

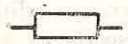
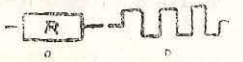
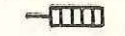
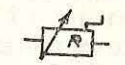
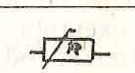
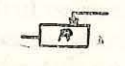
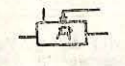
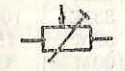
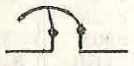
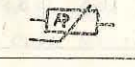
Rezistoarele sînt reprezentate în schemele electrice prin semne convenţionale conform STAS 1590/2—71. Semnele convenţionale ale rezistoarelor sînt indicate în tabelul 2.1.

5. MARCAREA REZISTOARELOR

Rezistoarele pentru circuitele de curenţi slabi au caracteristicile marcate conform STAS 9109—72 prin *cod de culori* sau *prin cod de litere şi cifre.*

Tabelul 2.1

Semne convenţionale pentru marcarea rezistoarelor

Nr. crt.	Semnul convenţional	Denumirea semnului convenţional
1		Rezistor Semn general (dacă nu este necesară specificarea naturii)
2		Rezistor (fără reactanţă): *a* — semn preferat; *b* — semn admis
3		Rezistor potenţiometric fix
4		Rezistor cu priză fixă
5		Element încălzitor (cu rezistor)
6		Rezistor variabil, semn general
7		Rezistor cu variaţie continuă
8		Rezistor variabil cu trepte în prize
9		Rezistor cu reglaj predeterminat
10		Rezistor variabil cu contact mobil. Semn general
11		Rezistor variabil cu contact mobil şi variaţie continuă
12		Rezistor variabil cu contact mobil în trepte cu prize
13		Rezistor potenţiometric cu contact mobil
14		Rezistor potenţiometric cu reglaj predeterminat
15		Reostat
16		Rezistor cu variaţie neliniară

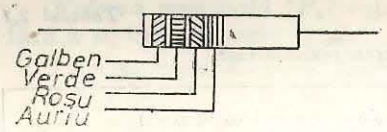


Fig. 2.2. Marcarea valorilor rezistenţei cu ajutorul benzilor colorate.

Codul de culori cuprinde patru benzi de culori (fig. 2.2), primele trei benzi reprezentînd valoarea rezistenţei, iar a patra toleranţa. Prima bandă colorată se trasează în apropierea unuia dintre capetele rezistorului. Pentru a nu se produce confuzii în interpretarea codului, citirea se va face începîndu-se de la acest cap.

Codul de culori pentru marcarea valorilor şi toleranţelor este indicat în tabelul 2.2.

Tabelul 2.2

Codul culorilor pentru rezistoare cu peliculă de carbon

Culoarea		Argintiu	Auriu	Negru	Maro	Roşu	Portocaliu	Galben	Verde	Albastru	Violet	Gri	Alb
Valoarea	Primă cifră semnificativă	—	—	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	A doua cifră semnificativă	—	—	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Multiplicatorul	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6			
Toleranţa		±10%	±5%	fără culoare ±20%									

Codul de litere şi cifre cuprinde trei sau patru caractere, cuprinzînd două cifre şi o literă sau trei cifre şi o literă, în funcţie de numărul cifrelor semnificative ce trebuie marcate pe rezistoare. De exemplu, 2700 Ω se va marca 2 k 7, iar 332 000 Ω se va marca 332 k. Literele codului înlocuiesc virgula zecimală (v. tab. 2.3).

Tabelul 2.3

Exemple de cod pentru marcarea valorii rezistenţei

Valoarea rezistenţei	Codul de marcare	Valoarea rezistenţei	Codul de marcare	Valoarea rezistenţe	Codul de marcare	Valoarea rezistenţei	Codul de marcare
0,1 Ω	R10	332Ω	332R	1MΩ	1M0	3,32GΩ	3G32
1,15 Ω	R15	590Ω	590R	1,5MΩ	1M5	5,90GΩ	5G9
0,332Ω	R332	1kΩ	1k0	3,32MΩ	3M32	10GΩ	10G
0,590Ω	R59	1,5kΩ	1k5	5,90MΩ	5M9	15GΩ	15G
1Ω	1R0	3,32kΩ	3k32	10MΩ	10M	33,2GΩ	33G2
1,5Ω	1R5	5,90kΩ	5k9	15MΩ	15M	59,0GΩ	59G
3,32Ω	3R32	10kΩ	10k	33,2MΩ	33M2	100GΩ	100G
5,90Ω	5R9	15kΩ	15k	59,0MΩ	59M	150GΩ	150G
10Ω	10R	33,2kΩ	33k2	100MΩ	100M	332GΩ	332G
15Ω	15R	59,0kΩ	59k	150MΩ	150M	590GΩ	590G
33,2Ω	33R2	100kΩ	100k	332MΩ	332M	1TΩ	1T0
59,0Ω	59R	150kΩ	150k	590MΩ	590M	1,5TΩ	1T5
100Ω	100R	332kΩ	332k	1GΩ	1G0	3,32TΩ	3T32
150Ω	150R	590kΩ	590k	1,5GΩ	1G5	5,90TΩ	5T9

La marcarea rezistoarelor se folosesc literele R, k, M, G, T pentru a reprezenta coeficienţii de multiplicare 1, 10^3 (kilo), 10^6 (mega), 10^9 (terra) la valorile exprimate în ohmi. Pentru marcarea toleranţei indicată în procente din valoarea rezistenţei se foloseşte codul de litere din tabelul 2.4.

Tabelul 2.4

Codul pentru marcarea toleranţei la valoarea nominală a rezistenţei

Toleranţa %	Litera codului
±0,1	B
±0,25	C
±5	D
±1	F
±2	G
±5	J
±10	K
±20	M
±30	N

Rezistoarele pentru circuitele de curenţi slabi se execută cu valorile rezistenţei conform seriilor E_6, E_{12}, E_{24}, sau E_{48}. Aceste serii au valori de ce în ce mai dese şi toleranţe din ce în ce mai mici; cifra indică numărul de valori din serie.

Rezistoarele pentru circuitele de curenţi tari se marchează cu valorile: rezistenţa nominală, curentul de sarcină şi tensiunea nominală.

B. REZISTOARE PENTRU CURENŢI SLABI

În circuitele de curenţi slabi se folosesc tipuri de *rezistoare bobinate* şi *chimice*.

1. REZISTOARE BOBINATE

Rezistoarele bobinate sînt realizate dintr-un conductor cu rezistenţă specifică mare înfăşurat pe un suport izolant care rezistă la acţiunea căldurii dezvoltate. Secţiunea conductorului este astfel aleasă, încît în funcţionarea normală temperatura să nu depăşească o anumită limită.

Diametrul conductorului se poate calcula cu relaţia:

$$d = \sqrt{\frac{4I^2\rho K}{\pi^2 p}}\ [\mathrm{m}], \qquad (2.3)$$

în care:

I este curentul ce parcurge conductorul, în A;
ρ — rezistenţa specifică a materialului conductorului, în Ωm;
K — coeficientul de creştere a rezistenţei cu temperatura (1/K);
p — puterea specifică disipată de conductor, în W/m².

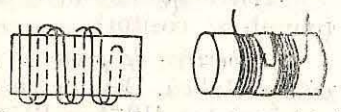
Cu cît puterea specifică disipată de conductor este mai mare, cu atît temperatura acestuia creşte.

Pentru realizarea rezistoarelor se folosesc conductoare confecţionate din materiale cu rezistenţă specifică mare, ca de exemplu:

— aliaje de fier, crom şi nichel $\rho = 1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ωm;
— aliaje de fier, crom şi aluminiu $\rho = 1{,}35 \cdot 10^{-6}$ Ωm.

Tubul pe care se înfăşoară conductorul se poate realiza din sticlă, fire de sticlă sau din material ceramic (porţelan sau steatit). Suporturile ceramice se caracterizează printr-o rezistenţă mecanică bună, conductibilitate termică şi rezistenţă la şocuri termice satisfăcătoare.

Rezistoarele bobinate prezintă o anumită inductanţă. De aceea se execută bobinări speciale care prezintă inductanţă nulă (fig. 2.3). De asemenea, rezistoarele bobinate se pot realiza cu cursoare care să permită reglarea valorii rezistenţei.



a *b*

Fig. 2.3. Rezistoare bobinate cu inductanţă nulă; *a* — rezistor plan; *b* — rezistor cilindric.

Rezistoarele neprotejate se construiesc pentru funcționarea în încăperi cu umiditate redusă. Acest tip de rezistoare este folosit la aparatele de măsurat electrice. În acest caz conductorul folosit este realizat din constantan sau manganin, aliaje care nu-și schimbă rezistența la variații mari ale temperaturii. În unele cazuri aceste rezistoare sînt confecționate din conductoare rezistente izolate cu email sau cu mătase.

Rezistoarele neprotejate folosite în alte scopuri se execută de obicei pe tub de sticlă și au puteri cuprinse între 5 și 500 W. Valoarea rezistenței acestor rezistoare nu depășește 1 000 Ω.

Fixarea conductorului la capete se face cu ajutorul unor coliere metalice. Temperatura de lucru nu depășește 200 °C.

Rezistoarele lăcuite sînt realizate după același principiu, ca și rezistoarele neprotejate , fiind însă acoperite cu un strat protector din lac sau email. Aceste rezistoare pot funcționa în atmosferă cu umiditate mărită. Temperatura de lucru este limitată de natura lacului de protecție și, în general, nu depășește 100 °C.

Rezistoarele glazurate au stratul protector realizat din glazură de porțelan cu ciment siliconic. Această construcție permite funcționarea rezistoarelor la temperaturi ridicate pînă la 500 °C.

2. REZISTOARE CHIMICE

Rezistoarele chimice peliculare se formează prin depunerea pe un suport izolant ceramic a unui strat subțire (0,1 μm) semiconductor din carbon sau metal.

Rezistoarele **cu peliculă metalică** au o mare stabilitate a rezistenței electrice la funcționarea de lungă durată.

Rezistoarele **cu peliculă de carburi** sau **bor-carbon** se execută în mai multe faze care sînt expuse în continuare.

Pregătirea suportului. Pentru înlăturarea impurităților se aplică spălarea cu apă cu detergenți și decaparea în soluție de acid fluorhidric (0,5—5%). După aceasta se spală cu apă caldă și se usucă în cuptor.

Tratamentul pirolitic urmărește depunerea carbonului dintr-o hidrocarbură saturată (metan, benzen etc.) pe suportul rezistenței la o temperatură de circa 1000 °C. Piroliza se execută în cuptoare cu vid sau atmosferă neutră (azot).

Metalizarea capetelor are drept scop depunerea unui strat metalic pentru lipirea conexiunilor.

Filetarea este procesul de tăiere a șanțului elicoidal în pelicula de carbon și suportul ceramic cu un disc abraziv.

Lipirea conexiunilor din cupru se face cu ajutorul aliajelor de lipire (plumb și cositor).

Acoperirea de protecție se obține cu o vopsea termorezistivă sau cu peliculă metalică. Depunerea peliculei metalice se realizează prin evaporarea în vid înaintat (10^{-4} — 10^{-6} torr) și la temperatură înaltă. Variindu-se condițiile de depunere se pot modifica proprietățile electrice ale rezistoarelor.

Tratamentul termic are drept scop micșorarea coeficientului de temperatură și uniformizarea structurii. Se realizează la temperatura de 700 ... 900 °C timp de 3—50 min.

Formarea electrică se execută pentru a se îmbunătăți contactul electric între peliculă și terminale.

Rezistoarele pe bază de bioxid de staniu (SnO_2) se obțin prin depunere chimică a peliculei de staniu pe suportul izolant. Ulterior, această peliculă se oxidează prin încălzire în aer.

Rezistoarele chimice de volum se realizează dintr-un amestec ce cuprinde : material semiconductor (grafit sau negru de fum), masa de umplutură (argilă, talc sau caolin) și un izolant (cauciuc sau rășină sintetică).

Rezistoarele de volum se introduc fie într-un tub izolant (de ceramică sau sticlă), fie se presează sub formă de vergele.

Rezistoarele de volum au următoarele *avantaje:* putere de disipație mare raportată la volum, cost scăzut, robustețe electică și mecanică ridicate și inductanță proprie redusă.

3. POTENȚIOMETRE

Potențiometrul este un rezistor variabil avînd două borne fixe și o bornă formată dintr-un cursor care alunecă pe suprafața rezistorului.

Potențiometrele pot fi *rectilinii* sau *circulare,* ultimele avînd un ax de acționare.

Potențiometrele bobinate se realizează prin înfășurarea unui conductor cu rezistivitate mare (manganină sau cromnichel) pe un suport izolant, executat din pertinax sau fibră vulcanică, pentru puteri mici și din ceramică, pentru puteri mari.

Potențiometrele chimice se realizează prin depunerea unui strat de carbon sau de metal pe un suport izolant de pertinax.

Potențiometrele chimice se construiesc *cu variația liniară a rezistenței* sau *cu variația logaritmică a rezistenței* la deplasarea cursorului. Aceste potențiometre sînt marcate cu emblemele „lin" și respectiv „log".

Cursorul se execută de obicei din bronz fosforos și trebuie astfel executat, încît să asigure un contact bun cu pelicula de carbon fără a produce uzura acesteia.

4. REZISTOARE NELINIARE

Rezistoarele neliniare sînt caracterizate prin variația importantă a rezistenței în cazul modificării unei mărimi exterioare.

Termistoarele sînt rezistoare neliniare a căror rezistență variază pronunțat cu încălzirea, avînd un coeficient de variație a rezistenței cu temperatura negativ (rezistența scade cu creșterea temperaturii).

Termistoarele se execută din oxizi de Cr, Mn, Fe, Cd sau Ni.

Pentru a se înțelege funcționarea termistoarelor se folosește caracteristica volt-amper (fig. 2.4). La rezistențele normale caracteristicile volt-amper sînt linii drepte ce trec prin originea axelor de coordonate (fig. 2.4, *a*).

La termistoare caracteristica volt-amper este întîi o dreaptă, pentru ca apoi la creșterea curentului rezistența lor să scadă datorită încălzirii termistorului (fig. 2.4, *b*).

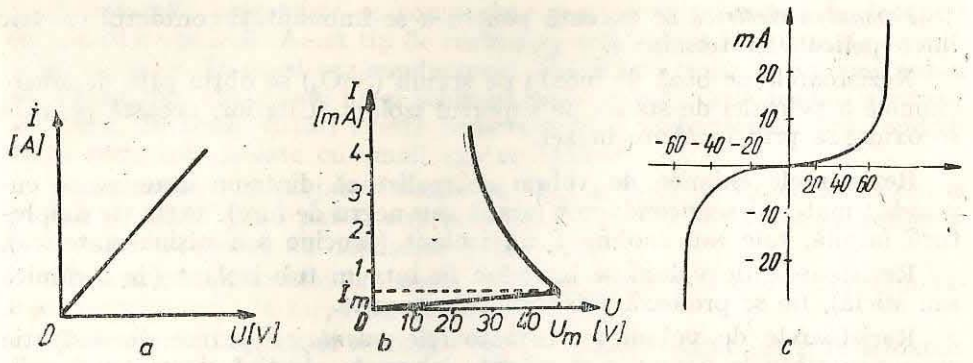


Fig. 2.4. Caracteristica volt-amper a rezistoarelor:
a — rezistoare normale; *b* — termistoare; *c* — varistoare.

Varistoarele sînt dispozitive constituite dintr-un semiconductor a cărui rezistenţă scade cînd creşte tensiunea continuă aplicată la bornele lui (fig. 2.4, *c*). Ele sînt utilizate în circuite pentru protecţia la supratensiuni, în circuite de reglare automată etc.

C. REZISTOARE PENTRU CURENŢI TARI

În instalaţiile de curenţi tari, rezistoarele sînt utilizate pentru reglarea curentului, reglarea tensiunii, obţinerea căldurii etc.

Rezistoarele se realizează fie cu rezistenţă constantă, sub denumirea de *rezistoare fixe*, fie cu rezistenţă variabilă, sub denumirea de *rezistoare variabile* sau *reostate*.

1. REZISTOARE FIXE

Rezitoarele fixe sînt folosite atît ca elemente de sine stătătoare, cît şi ca elemente componente ale reostatelor.

Rezistoarele din fontă au formă ondulată (fig. 2.5), justificată de obţinerea unei lungimi cît mai mari într-un spaţiu cît mai redus.

Elementele de rezistoare sînt prevăzute cu urechi de prindere la capete. În mijlocul elementului se află uneori un punct de fixare suplimentar, pentru a consolida construcţia împotriva deformărilor termice şi a vibraţiilor.

Elementele se aşază pe tije de oţel izolate cu tub de mică. Între urechile elementului de fontă se aşază rondele de oţel sau micanită, după cum se doreşte înserierea sau izolarea elementului rezistor. Din loc în loc, între elemente se aşază plăcuţe cu două găuri: prin una trece tija de oţel izolată, iar a doua serveşte ca bornă de legătură (fig. 2.6). Aceste borne constituie prize, care se aşază la anumite valori ale rezistenţei.

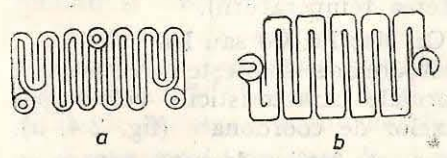


Fig. 2.5. Rezistoare din fontă:
a — cu trei puncte de fixare; *b* — cu două puncte de fixare.

Elementele de fontă au o bună capacitate calorică, putînd suporta şocuri de scurtă durată.

Rezistoarele din tablă ştanţată au o răspîndire largă în ultimul timp, datorită următoarelor avantaje: tehnologie mai simplă şi cost mai redus.

Elementele se obţin prin ştanţare la matriţe speciale, montate pe prese mecanice cu excentric, decupîndu-se atît liniile separatoare dintre ondule, cît şi găurile de fixare (fig. 2.7).

Ca material se foloseşte tabla de oţel cu siliciu cu grosimea pînă la 1,2 mm. În scopul creşterii rezistenţei la coroziune, elementele de tablă se acoperă galvanic prin zincare sau cadmiere.

Fixarea elementelor unul de celălalt, pentru obţinerea înserierii, se face prin legarea cu şuruburi sau sudarea urechilor elementului. La montaj elementul se întinde pentru a se evita scurtcircuitele între laturile ondulelor.

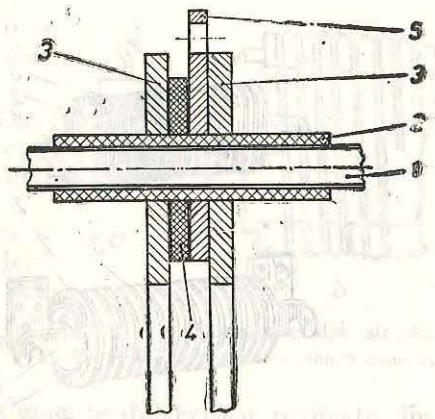


Fig. 2.6. Borne de legătură pentru rezistoare de fontă:
1 — tirant metalic; *2* — tub izolant; *3* — elemente de fontă; *4* — disc izolant; *5* — bornă de legătură.

Prizele se scot prin legarea conductorului de urechile îndoite ale elementului. Elementele ştanţate permit executarea unor rezistoare de greutate mică, cu suprafaţa mare de răcire şi gabarit redus.

Rezistoarele din bandă (fig. 2.8) se execută din bandă de cromnichel sau constantan.

La aceste rezistoare se deosebesc următoarele părţi:

— *suportul metalic 1*, fabricat din tablă de oţel, avînd capetele decupate pentru a permite atît montarea izolatoarelor ceramice, cît şi fixarea întregului element de bare de oţel izolate cu tub de micanită;

— *călăreţii ceramici 2* din porţelan sau steatit, avînd rolul de a izola partea conductoare de curent. Călăreţii se lipesc pe suportul metalic cu litargă (oxid de plumb cristalizat amestecat cu glicerină);

— *banda conductoare de curent 3*, care se montează pe călăreţii ceramici prin spiralizare pe muchie sau pe lat.

Rezistoarele fabricate cu aceste elemente au indici calitativi foarte buni, dar au o tehnologie dificilă şi utilizează material rezistiv scump. Uneori se folosesc elemente din bandă fără suporţi, realizate din bandă spiralizată sau ondulată şi suspendate de izolatoare numai la capete (fig. 2.8, *d*, *e*).

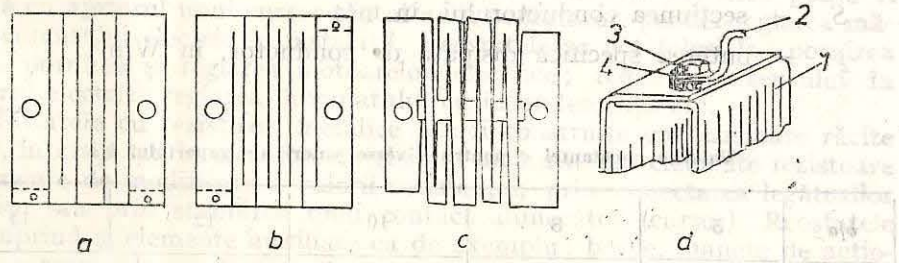


Fig. 2.7. Rezistoare din tablă:
a, *b* rezistoare decupate; *c* — rezistor întins; *d* — borna unui rezistor (*1* — urechea rezistorului, *2* — conductorul de legătură, *3* — şurubul bornei, *4* — şaibă).

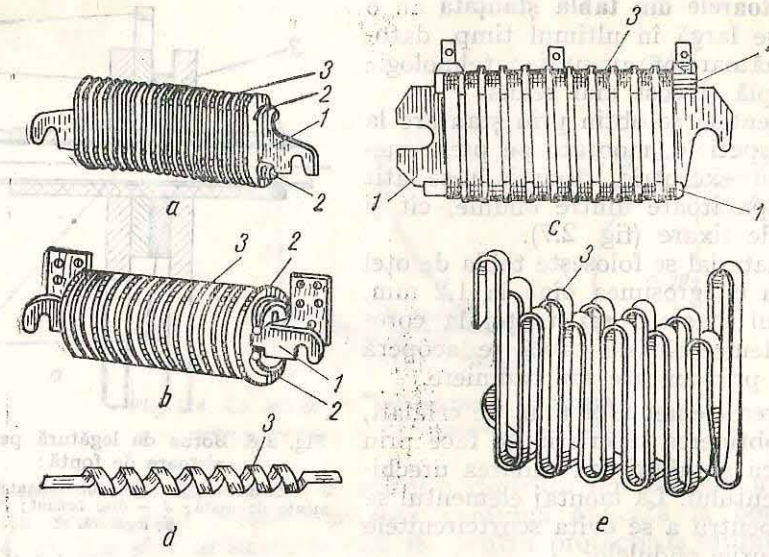


Fig. 2.8. Rezistoare din bandă:

a, b — rezistoare bobinate pe muchie; *c* — rezistor bobinat pe lat; *d* — rezistor spiralizat; *e* — rezistor ondulat; *1* — suport metalic; *2* — călăreț de porțelan; *3* — rezistor din bandă.

Pentru conductoarele din bandă se poate folosi relația de calcul a grosimii benzii,

$$a = c\sqrt{\frac{I^2 S}{p}}, \qquad (2.4)$$

în care:

c este o constantă în funcție de raportul $\frac{b}{a}$ (a este grosimea benzii, în m și b lățimea benzii, în m). Raportul $\frac{b}{a}$ se alege între 5 și 15. Valoarea lui c este dată în tabelul 2.5, în funcție de valorile raportului $\frac{b}{a}$;

I — curentul în conductor, în A;

S — secțiunea conductorului, în m²;

p — puterea specifică disipată de conductor, în W/m².

Tabelul 2.5

Valorile constantei c pentru diverse valori ale raportului b/a

b/a	5	8	10	12	15
c	0,119	0,0885	0,077	0,0685	0,0593

Pentru încărcarea elementelor rezistoare funcționînd în aer se aleg următoarele valori la diferite regimuri de utilizare:

3,5—5,0 kW/m² pentru regim permanent;
15—20 kW/m² pentru regim intermitent;
45—50 kW/m² pentru regim de scurtă durată (pornirea motoarelor).

Pentru rezistoarele funcționînd în ulei se aleg încărcări de 2,5—3 ori mai mari decît pentru rezistoarele funcționînd în aer la aceleași regimuri de utilizare.

Elementele de sîrmă se realizează în două forme: pe suporți sau spirale libere.

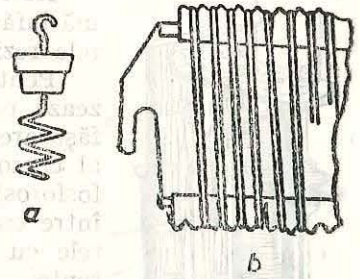


Fig. 2.9. Rezistoare din sîrmă:
a — fără suport; *b* — cu suport ceramic.

În figura 2.9 sînt reprezentate două elemente de rezistor realizate din sîrmă rotundă. Ca material se folosește oțel galvanizat, constantan, crom-nichel și nichelină (aliaj de nichel fier).

La aceste elemente valoarea rezistenței se poate obține mai precis decît la elementele descrise pînă acum, prin montarea unui colier deplasabil, la care se poate racorda conductorul prizei de curent.

Calculul rezistoarelor din sîrmă se face cu relația (2.3), ținîndu-se seamă că pentru încărcarea specifică se aleg, în funcție de regimul de lucru al elementului lucrînd în aer, următoarele valori:

15 kW/m² pentru funcționarea permanentă;
18 kW/m² pentru funcționarea intermediară;
43 kW/m² pentru funcționarea de scurtă durată (pornirea motoarelor).

Lungimea sîrmei se calculează cu relația:

$$l = \frac{RS}{\rho}, \qquad (2.5)$$

în care:

l este lungimea sîrmei, în m;
R — rezistența elementului, în Ω;
S — secțiunea conductorului, în m²;
ρ — rezistența specifică, în Ωm.

2. REZISTOARE REGLABILE (REOSTATE)

Reostatele sînt aparate electrice la care rezistența electrică poate fi reglată cu ajutorul unui cursor sau al unui comutator, pentru reglarea mărimii curentului electric în instalații. Reostatele se pot folosi la: pornirea sau la pornirea și reglarea motoarelor electrice; reglarea curentului în cuptorul electric: reglarea iluminatului cu incandescență etc.

Reostatele cu rezistoare metalice pot fi construite cu rezistoare răcite în aer, în nisip sau în ulei. Reostatele sînt alcătuite din elemente rezistoare și elemente de modificare a valorii rezistenței, prin conectarea legăturilor electrice sau prin stabilirea unui contact alunecător (cursor). Reostatele mai cuprind și elemente auxiliare ca de exemplu: borne, manete de acționare, carcasă de protecție etc.

Reostatele pot fi monofazate sau trifazate, în funcție de circuitele în care vor fi montate.

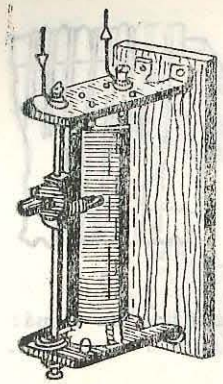


Fig. 2.10. Reostat cu cursor.

Reostatele cu cursor au elementul rezistor din sîrmă înfășurată pe un tub izolant ceramic (fig. 2.10), spirele rezistorului fiind bobinate alăturat.

Pentru ca spirele să fie izolate între ele se realizează oxidarea sîrmei prin tratament termic după înfășurarea pe suportul ceramic. Elementul de contact al cursorului este realizat din material arcuitor (bronz fosforos), tăiat sub formă de lamele. Zona de contact între cursor și rezistor este curățată de oxid. Reostatele cu cursor realizează o variație continuă a rezistenței.

Reostatele cu ploturi au o variație în trepte a rezistenței (fig. 2.11). În funcție de variația admisă a rezistenței se stabilește numărul de trepte. De asemenea, se ia în considerare ca variația curentului în circuit să nu producă distrugerea ploturilor.

Pentru a se asigura automatizarea trecerii de pe o treaptă pe alta a rezistenței se folosesc uneori comutatoarele cu contactoare.

Reostatele cu rezistoare din lichid se folosesc la reglarea curenților mari (fig. 2.12). Ca electrolit se folosește soluție de sodă în apă.

Reostatele cu vapori (fig. 2.13) sînt de fapt reostate cu lichid la care presiunea vaporilor face să se modifice nivelul lichidului în camera de presiune, reglîndu-se automat curentul în instalație. La început, curentul fiind foarte mare produce într-un timp scurt o cantitate mare de vapori care evacuează lichidul din cameră, mărind rezistența reostatului. Scăderea curentului produce o reducere a presiunii în cameră și pătrunderea din nou a lichidului. Ciclul se repetă pînă cînd se asigură pornirea completă a motorului, contactorul *5* scoțînd reostatul din circuit.

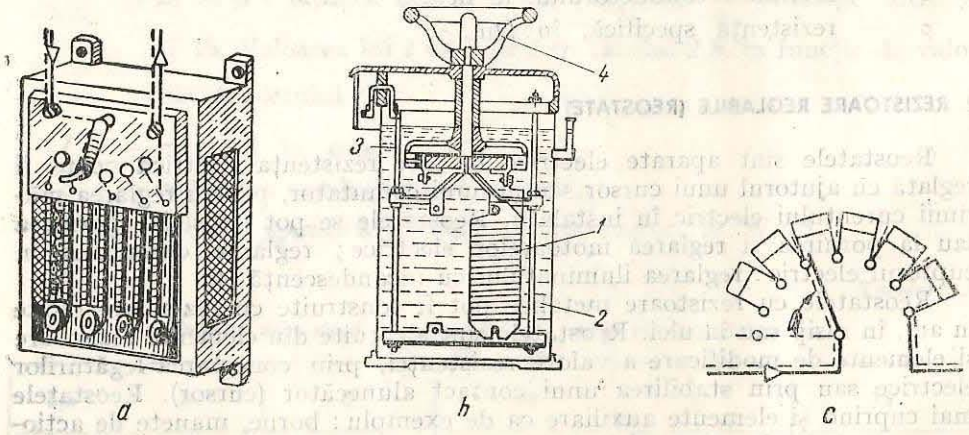


Fig. 2.11. Reostate cu ploturi:
a — cu răcire în aer; *b* — cu răcire în ulei (*1* — rezistor, *2* — ulei, *3* — contacte, *4* — manetă); *c* — schema electrică.

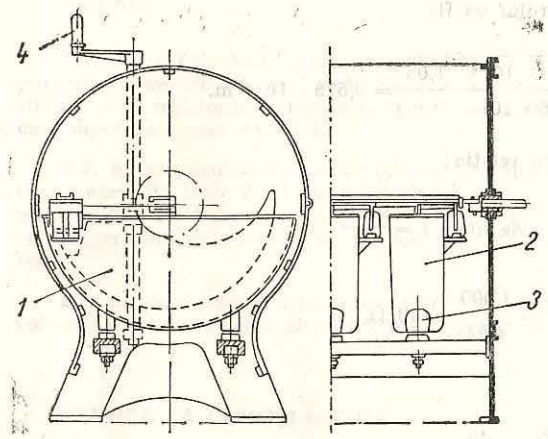


Fig. 2.12. Reostat cu lichid:
1 — electrod mobil; *2* — electrod fix (cuvă cu lichid); *3* — izolator; *4* — manetă.

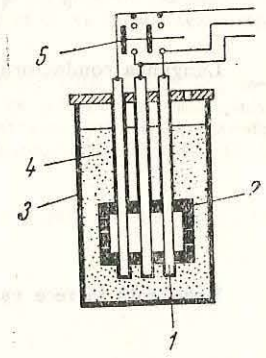


Fig. 2.13. Reostat cu vapori:
1 — electrod; *2* — camera de presiune; *3* — cuvă; *4* — lichid; *5* — contactor.

3. REZISTOARE PENTRU ÎNCĂLZIRE

Rezistoarele pentru încălzire se execută numai din materiale rezistive care pot funcționa la temperaturi înalte (peste 1000 °C), ca de exemplu: cromnichel, fecral (kanthal), silită etc. Se folosesc atît aliaje metalice, cît și materiale pe bază de carbon sinterizate.

Rezistoarele se utilizează fie aplicate direct pe suporți ceramici, fie sub formă spiralizată și susținute de suporții ceramici. Ele se folosesc fie ca surse de căldură de uz casnic (radiatoare, plite electrice, fiare de călcat, plonjoare de încălzit apa etc.), fie ca surse de uz industrial (aeroterme, cuptoare electrice, plonjoare pentru încălzirea matrițelor).

Exemple de calcul

a) Să se calculeze puterea disipată de un rezistor avînd o rezistență de 500Ω și care este parcurs de un curent de 0,1 A.

$$P = RI^2 = 500 \cdot 0.1^2 = 5\text{W}.$$

b) Să se calculeze creșterea valorii rezistenței unui rezistor executat din sîrmă de cromnichel avînd rezistența de 100 Ω și coeficientul de temperatură $\alpha = 0{,}002$, știindu-se că temperatura de lucru a acestuia este de 100 °C.

$$R = R_0[1 + \alpha(t - t_0)] = 100[1 + 0{,}002(100 - 20)] = 116\Omega$$

c) Să se calculeze diametrul și lungimea conductorului unui rezistor de 1 000 W, realizat din sîrmă de cromnichel și alimentat la tensiunea de 220 V vare este folosit pentru încălzirea unui fier de călcat, știindu-se că puterea specifică disipată $p = 5 \cdot 10^4$ W/m², coeficientul de creștere a rezistenței cu temperatura la 400 °C este de 1,05, iar materialul crom-nichel are o rezistență specifică de $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ωm.

Diametrul sîrmei rezistorului se va calcula cu relația (2.3) în care curentul ce străbate rezistorul va fi:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{1000}{220} = 4{,}54 \text{ A}.$$

Deci diametrul conductorului rezistorului va fi:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 4{,}54^2 \cdot 1{,}1 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}05}{10 \cdot 5 \cdot 10^4}} = 0{,}575 \cdot 10^{-3} \text{ m}.$$

Lungimea conductorului se obține din relația:

$$R = \rho \frac{l}{s}, \text{ de unde } l = \frac{RS}{\rho};$$

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{1\,000}{4{,}54^2} = 49\ \Omega.$$

Rezistența la rece va fi:

$$R_{20} = \frac{R_t}{K} = \frac{49}{1{,}05} = 46{,}5\ \Omega$$

Secțiunea conductorului:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}575^2}{4} \cdot 10^{-6} = 0{,}26 \cdot 10^{-6} \text{ m}.$$

Deci:

$$l = \frac{46{,}5 \cdot 0{,}26 \cdot 10^{-6}}{1{,}1 \cdot 10^{-6}} = 12{,}1 \text{ m}.$$

d) Să se calculeze rezistorul încălzitor pentru un cuptor electric având puterea de 30 kW la tensiunea de 380 V, legat în conexiunea stea-triunghi, știindu-se că puterea specifică disipată de rezistor este de $1{,}7 \cdot 10^4$ W/m², coeficientul de temperatură $K = 1{,}08$ pentru temperatura de 800 °C, iar rezistența specifică a materialului rezistorului $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ωm. Se va folosi conductor sub formă de bandă.

Considerăm că vom avea trei rezistoare egale, fiecare cu puterea de 1 kW, legate în stea sau în triunghi.

Curentul maxim ce străbate rezistorul apare în conexiunea triunghi, deci:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{10\,000}{380} = 26{,}3 \text{ A}.$$

Grosimea benzii este:

$$a = c \sqrt[3]{\frac{I^2 \rho K}{P}}.$$

Alegîndu-se un raport $\frac{b}{a} = 10$ se va obține $c = 0{,}077$.

Deci:

$$a = 0{,}077 \sqrt[3]{\frac{26{,}3^2 \cdot 1{,}1 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}08}{1{,}7 \cdot 10^4}} = 0{,}28 \cdot 10^{-3} \text{ m}.$$

Lățimea benzii este:

$$b = 10a = 10 \cdot 0.28 \cdot 10^{-3} = 2{,}8 \cdot 10^{-3} \text{ m}.$$

Aplicații

2.1. Să se calculeze puterea disipată de un rezervor având o rezistență electrică de 500 Ω, parcurs de un curent de 0,1 A. Să se calculeze creșterea puterii disipate cu temperatura, știindu-se că rezistorul ajunge la temperatura de 70 °C, iar coeficientul de variație a rezistenței cu temperatura este 0,02 1/K.

2.2. Să se calculeze diametrul și lungimea unui rezistor încălzitor pentru un fier de călcat cu o putere de 1000 W și tensiunea de alimentare 220V. Rezistența specifică a materialului este de $1{,}35 \cdot 10^{-6}$ Ωm, puterea specifică este $5 \cdot 10^{-4}$ W/m², coeficientul de variație a rezistenței cu temperatura este 0,02 1/K, iar temperatura la care ajunge elementul încălzitor este de 700 °C.

2.3. Să se măsoare în laborator valoarea rezistenței unui rezistor prin două metode: cu voltmetru și ampermetru și cu puntea Wheatstone.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. *Care rezistoare au o stabilitate mare a rezistenței la funcționarea de lungă durată:*
   - *rezistoarele chimice de volum?*
   - *rezistoarele chimice peliculare cu carbon?*
   - *rezistoarele chimice cu peliculă metalică?*
2. *Care este utilizarea industrială a rezistoarelor?*
3. *Care variantă de rezistoare cu lichid se folosește la reglarea automată a curenților de pornire?*
4. *Care rezistoare metalice suportă mai bine șocurile și vibrațiile:*
   - *rezistoarele din tablă?*
   - *rezistoarele din fontă?*

CAPITOLUL 3

CONDENSATOARE

A. GENERALITĂȚI

1. DEFINIȚII

Condensatorul electric este un ansamblu de două conductoare (armăturile condensatorului) separate printr-un mediu izolant electric (dielectric), avînd o capacitate nominală la temperatura de 40 °C. Aplicîndu-se la armăturile unui condensator o tensiune electrică continuă, condensatorul se încarcă cu sarcini electrice egale și de semne contrare.

Condensatoarele sînt elemente pasive care intră în componența circuitelor electrice.

2. CLASIFICARE

Condensatoarele se pot clasifica după mai multe criterii:

După **natura dielectricului:**

— condensatoare cu dielectric gazos (vid, aer, gaz);
— condensator cu dielectric lichid (ulei);
— condensatoare cu dielectric anorganic solid (sticlă, email, mică, ceramică);
— condensatoare cu dielectric organic solid (hîrtie, lac, email sintetic);
— condensatoare cu dielectric din oxizi metalici (electrolitici).

După **construcție:**

— condensatoare fixe;
— condensatoare variabile;
— condensatoare semireglabile (ajustabile).

După **regimul de lucru:**

— condensatoare pentru curent continuu;
— condensatoare pentru curent alternativ la frecvența rețelei (50 Hz);
— condensatoare pentru frecvențe înalte (peste 1 kHz).

După **tensiunea de lucru:**

— condensatoare de joasă tensiune (sub 100 V);
— condensatoare de înaltă tensiune (peste 100 V).

După **material:**

— condensatoare în carcasă de material plastic (polistiren tip styroflex, poliester tip mylar, rășină epoxidică);
— condensatoare în carcasă metalică (tub de aluminiu, carcasă din tablă de oțel);
— condensatoare ceramice.

După **condițiile climatice:**

— execuție pentru climat temperat normal;
— execuție pentru climat tropical uscat TA;
— execuție pentru climat tropical umed TH;
— execuție pentru climat polar F.

3. CARACTERISTICILE PRINCIPALE

Condensatoarele sînt caracterizate prin următoarele mărimi:

Capacitatea nominală C_n a unui condensator este valoarea pentru care a fost construit condensatorul.

Capacitatea nominală este definită prin relațiile:

$$C = \frac{Q}{U}, \tag{3.1}$$

în care:

C este capacitatea, în F;
Q — sarcina electrică, în C;
U — diferența de potențial, în V

și:

$$C = \varepsilon \frac{S}{d} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d}, \tag{3.2}$$

în care:

ε este permitivitatea absolută a dielectricului, o constantă dielectrică ce depinde de natura materialului dintre plăcile condensatorului, în F/m;

ε_0 — permitivitatea vidului $= \frac{1}{4\pi 9 \cdot 10^9}$ F/m;

ε — permitivitatea relativă a dielectricului (nu are unitate de măsură)

S — suprafața plăcii, în m^2;

d — distanța între plăci, în m.

Constanța dielectrică relativă sau *permitivitatea relativă* este raportul dintre capacitatea unui condensator electric care conține între armături substanță izolantă și capacitatea aceluiași condensator, avînd între armături aer (sau vid).

Unitatea de capacitate, faradul (F), este foarte mare și de aceea capacitatea condensatoarelor se exprimă de obicei prin unități mai mici, ca de exemplu:

milifarazi 1 mF $= 10^{-3}$ F;
microfarazi 1 μF $= 10^{-6}$ F;
nanofarazi 1 nF $= 10^{-9}$ F;
picofarazi (micromicrofarazi) 1 pF $= 1$ $\mu\mu$F $= 10^{-12}$ F.

Abaterea maximă admisibilă la 40 °C față de capacitatea nominală exprimată în procente este abaterea în plus sau minus rezultată din procesul de fabricație (toleranța). Capacitățile nominale se aleg pe baza seriilor E6, E12, E24, E48, care au valori din ce în ce mai dese și toleranțe mai mici. Astfel, seria E6 are șase valori nominale și toleranță 20%, iar E48 are 48 valori nominale și toleranța 2,5%.

Coeficientul de temperatură al capacității K_t caracterizează variația capacității electrice a condensatorului cu temperatura și poate fi obținut din relația:

$$C_t = C_{t_0}[1 + K_t(t - t_0)], \tag{3.3}$$

în care:

C este capacitatea la temperatura t, în F;
C_{t0} — capacitatea la temperatura $t_0 = 20°C$, în F;
K_t — coeficientul de temperatură al capacității;
t — temperatura de lucru, în °C;
t_0 — temperatura ambiantă (20°C).

Tensiunea nominală U_n este tensiunea maximă ce poate fi aplicată la bornele condensatorului timp îndelungat la temperatura maximă de funcționare. Tensiunea nominală poate fi indicată în curent continuu sau alternativ ca valoare efectivă.

Categoria climatică este zona climatică în care poate fi utilizat condensatorul fără a-și modifica caracteristicile în afara limitelor stabilite. Ea este caracterizată prin limitele de variație ale temperaturii ambiante, limitele de variație ale umidității, precum și prin eventuala prezență a unor microorganisme (mucegaiul) care pot ataca materialele izolante.

Rezistența de izolație R_{iz} este raportul dintre tensiunea continuă aplicată la bornele condensatorului și curentul care circulă prin el după un minut de la aplicarea tensiunii. Proba se face la temperatura de 20°C și trebuie să asigure cel puțin 100 MΩ pentru U_n pînă la 63 V inclusiv și cel puțin $5 \cdot 10^6$ MΩ pentru $U_n \geq 100$ V.

Tensiunile aplicate depind de tensiunea nominală a condensatorului: 10 V pentru $U_n < 100$ V, 100 V pentru $U_n < 500$ V și 500 V pentru $U_n \geq 500$ V.

Tensiunea de încercare U_i reprezintă valoarea tensiunii aplicate timp de 1 min la bornele condensatorului sau între terminale și corp la care trebuie să nu se producă străpungeri sau conturnări. Această tensiune este egală cu 1,5—5 ori tensiunea nominală, dar nu mai puțin de 200 V. La aplicarea acestei tensiuni trebuie să nu se producă scîntei care să străbată dielectricul. Tensiunea la care dielectricul își pierde proprietățile izolante depinde de natura și de grosimea materialului izolant, precum și de temperatura și umiditatea la care se face încercarea la străpungere.

Valoarea tensiunii la care dielectricul își pierde proprietățile izolante se numește *tensiune de străpungere*, iar raportul dintre această tensiune de străpungere și grosimea dielectricului se numește *rigiditate dielectrică* și se stabilește în volți (sau kilovolți) pe milimetru de grosime a dielectricului:

$$E_{str} = \frac{U_{str}}{d} \text{ [kW/mm]}.$$

Tangenta unghiului de pierderi tg δ este raportul dintre pierderile de putere activă și puterea sa reactivă măsurate la o tensiune alternativă de frecvență 1 000 Hz și temperatura ambiantă 25°C.

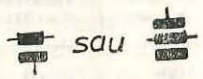
4. REPREZENTAREA CONVENȚIONALĂ A CONDENSATOARELOR

În schemele electrice condensatoarele se reprezintă prin semne convenționale, similar rezistoarelor.

Conform STAS 1590/2—71, principalele semne convenționale sînt cele indicate în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1

Semne convenționale pentru condensatoare

Nr. crt.	Semnul convențional	Denumirea semnului convențional
1		Condensator. Semn general Distanța dintre liniile paralele trebuie să fie 1/3—1/5 din lungimea lor
2		Condensator de trecere
3		Condensator cu o armătură pusă la masă
4		Condensator polarizat
5		Condensator electrolitic nepolarizat
6		Condensator electrolitic polarizat
7		Condensator variabil. Semn general.
8		Condensator diferențial reglabil ($C = C_1 + C_2 =$ constant)
9		Condensator variabil cu două armături
10		Condensator variabil în funcție de temperatură (de exemplu, condensator ceramic)
11		Condensator variabil în funcție de tensiune (de exemplu, condensator cu semiconductoare)
12		Condensator variabil în trepte

5. MARCAREA CONDENSATOARELOR

Pentru condensatoare se foloseşte, conform STAS 9109—72, metoda marcării prin cod de litere şi cifre.

Literele folosite sînt: p (pico), n (nano), μ (micro), m (mili) şi F exprimînd coeficienţii de multiplicare la mărimile exprimate în farazi (tab. 3.2).

Tabelul 3.2

Exemple de cod pentru marcarea valorilor capacităţii

Valoarea capacităţii	Codul de marcare	Valoarea capacităţii	Codul de marcare	Valoarea capacităţii	Codul de marcare	Valoarea capacităţii	Codul de marcare
0,1pF	p10	100pF	100p	100n	100n	100μF	100μ
0,15pF	p15	150pF	150p	150nF	150n	150μF	150μ
0,332pF	p332	322pF	322p	332nF	332n	332μF	332μ
0,590pF	p59	590pF	590p	590nF	590n	590μF	590μ
1pF	1p0	1nF	1n0	1μF	1μ0	1mF	1m0
1,5pF	1p5	1,5nF	1n5	1,5μF	1μ5	1,5mF	1m5
3,32pF	3p32	5,32nF	5n32	3,32μF	3μ32	3,32mF	3m32
5,90pF	5p9	5,90nF	5n9	5,90μF	5μ9	5,90mF	5m9
10pF	10p	10nF	10n	10μF	10μ	10mF	10m
15pF	15p	15nF	15n	15μF	15μ	15mF	15m
33,2pF	33p2	33,2nF	33n2	33,2μF	33μ2	33,2mF	33m2
50,0pF	59p	59,0nF	59n	59,0μF	59μ	59,0mF	59m

Mărimile alese pentru realizarea seriei de condensatoare, precum şi toleranţele respective sînt aceleaşi cu cele folosite pentru realizarea rezistoarelor.

6. UTILIZAREA CONDENSATOARELOR

Condensatoarele se folosesc în multe ramuri ale industriei, avînd o utilizare multiplă în circuitele de curenţi slabi şi cele de curenţi tari.

În domeniul curenţilor slabi condensatoarele se folosesc în:

— *radiotehnică, televiziune, radiolocaţie,* pentru: realizarea circuitelor de acord-filtrare şi a circuitelor oscilante, blocarea curentului continuu, microfoane şi difuzoare capacitive etc.;

— *telefonie şi telegrafie,* pentru: separarea circuitelor de curent continuu şi alternativ, atenuarea scînteilor la contacte, netezirea curentului redresat, simetrizarea liniilor, filtrare etc.;

— *automatică,* pentru atenuarea scînteilor la contacte, elemente de temporizare, traductoare capacitive etc.;

— *măsurări electrice* ca: etaloane, traductoare, aparate de măsură capacitive etc.;

— *tehnica fotografierii:* la instalaţiile de iluminat intens cu descărcări în gaze (tip fulger).

În domeniul curenţilor tari condensatoarele se folosesc în următoarele cazuri:

— *condensatoare pentru îmbunătăţirea factorului de putere* ($\cos\varphi$), utilizate la: reţelele de joasă şi medie tensiune, acţionări cu motoare electrice, cuptoare electrice cu arc, maşini de sudat, instalaţii de medie frecvenţă, lămpi fluorescente, linii de transport, transformatoare;

— *condensatoare pentru pornirea motoarelor,* utilizate la: pornirea şi funcţionarea motoarelor monofazate, conectarea motoarelor trifazate la o reţea monofazată;

— *condensatoare de aplatizare,* utilizate ca element de acumulare a energiei sau ca element de filtrare;

— *condensatoare de protecţie contra supratensiunilor,* utilizate în linii de medie şi înaltă tensiune pentru protecţia transformatoarelor şi generatoarelor prin aplatizarea frontului undelor de şoc;

— *condensatoare de cuplare,* utilizate la conectarea instalaţiilor de telecomunicaţii prin curenţi purtători de înaltă frecvenţă cu linii de înaltă tensiune;

— *condensatoare de unde de şoc,* utilizate la construirea generatoarelor de unde de şoc destinate încercării transformatoarelor;

— *condensatoare de curenţi de şoc,* utilizate la deformarea metalelor prin cîmpuri electrostatice de mare intensitate;

— *condensatoare de deparazitare,* utilizate la atenuarea paraziţilor ce apar la instalaţiile de curenţi tari şi produc perturbaţii în instalaţiile de telecomunicaţii.

B. CONSTRUCŢIA CONDENSATOARELOR

1. CONDENSATOARE CU DIELECTRIC GAZOS (AER)

Marea majoritate a condensatoarelor cu dielectric gazos folosesc aerul ca dielectric.

Avantajele utilizării aerului sînt:

— străpungerea dielectricului la aplicarea timp scurt a unei tensiuni mari între plăci nu cauzează deteriorarea condensatorului, deoarece gazele îşi restabilesc foarte repede rigiditatea dielectrică;

— permite execuţia unor condensatoare variabile simple.

Dezavantajele condensatoarelor cu aer constau în valoarea mică a constantei dielectrice şi a rigidităţii dielectrice, ceea ce duce la creşterea dimensiunilor condensatorului.

Condensatoarele fixe cu aer (fig. 3.1) se utilizează în special ca etaloane de capacitate, mai ales la tensiunile înalte. Ele se realizează din mai multe plăci metalice paralele şi distanţate între ele. Plăcile formează două grupe izolate prin suporţi ceramici. Plăcile se execută din alamă argintată sau aluminiu şi formează armăturile condensatorului. Condensatorul este prevăzut cu o lamelă reglabilă care permite corecţia valorii capacităţii obţinute la fabricaţie. Se realizează condensatoare cu capacitatea cuprinsă între 50 şi 10 000 pF, cu precizia de 0,05% sau 0,01%.

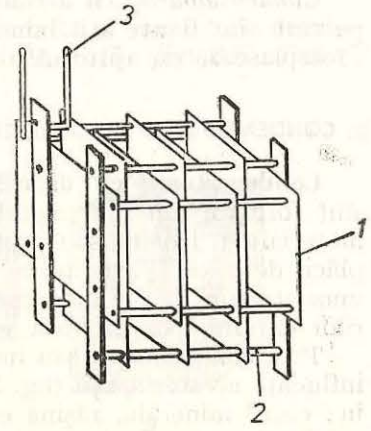


Fig. 3.1. Condensator fix cu aer:
1 — armături; *2* — izolatoare între armături; *3* — terminale.

Condensatoarele variabile cu aer sînt realizate în principiu din pachete mobile de lamele, denumite *rotor,* ce se introduc prin rotire între lamele fixe, denumite *stator.* Rotorul este fixat pe un ax ce se roteşte în lagăre cu bile fixate pe carcasă. Statorul este fixat pe carcasa condensatorului prin intermediul unor izolatoare ceramice (fig. 3.2).

În funcţie de numărul circuitelor ce trebuie acordate simultan se realizează con-

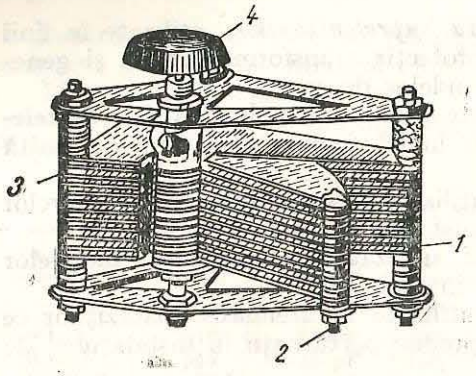


Fig. 3.2. Condensator variabil cu aer:
1 — armătură fixă; *2* — armătură mobilă; *3* — izolatoare între armături; *4* — buton de acționare.

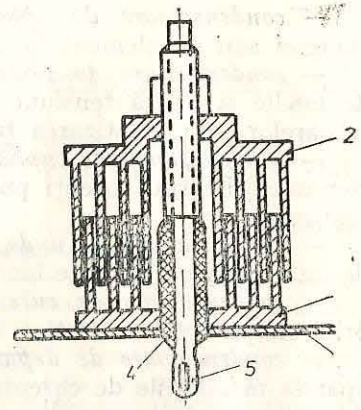


Fig. 3.3. Condensator semireglabil (ajustabil) cu aer:
1 — armătură fixă; *2* — armătură mobilă; *3* — placă de fixare; *4* — izolator; *5* — borna armăturii reglabile.

densatoare variabile cu una pînă la patru secțiuni. Aceste secțiuni pot fi de capacități identice sau diferite, în funcție de natura utilizării.

Plăcile se execută din aluminiu. Pentru corectarea capacității, plăcile extreme ale rotorului sînt prevăzute cu crestături. Prin deformarea acestor sectoare de plăci se poate corecta capacitatea condensatorului.

Condensatoarele semireglabile (ajustabile) cu aer, denumite și *trimeri* sînt realizate în principiu similar condensatoarelor variabile. La aceste aparate se urmărește îndeosebi un gabarit cît mai redus, o finețe a reglajului cît mai mare și o bună stabilitate a valorii capacității în timp.

Aceste condensatoare sînt de două tipuri — cu armături cilindrice și cu armături plane.

Condensatoarele cu armături cilindrice (fig. 3.3) se execută din aluminiu și au atît statorul, cît și rotorul sub forma unor cilindri concentrici. Prin deplasarea rotorului pe un șurub, se realizează creșterea sau scăderea capacității.

Condensatoarele cu armături plane sînt formate dintr-un suport izolant pe care sînt fixate atît lamelele fixe, cît și cele variabile. Lamelele mobile se deplasează cu ajutorul unui șurub.

2. CONDENSATOARE CU DIELECTRIC SOLID

Condensatoare cu dielectric solid anorganic. *Condensatoarele cu mică* sînt formate din folii metalice subțiri aplicate prin presare pe suprafața materialului izolant sau prin pulverizarea unei pelicule subțiri pe suprafața plăcii de mică. Varianta cu folii metalice prezintă dezavantajul existenței unor straturi de aer între metal și dielectric care, datorită variațiilor factorilor externi, pot provoca variația capacității.

Prin comprimarea sau impregnarea pachetului de folii se poate micșora influența acestor spații (fig. 3.4). Impregnarea condensatorului se realizează în: ceară minerală, rășină epoxidică etc.

Condensatoarele ceramice au dielectricul format din plăcuțe ceramice pe bază de steatit sau titanat de magneziu. Electrozii se realizează prin argintarea celor două fețe ale dielectricului.

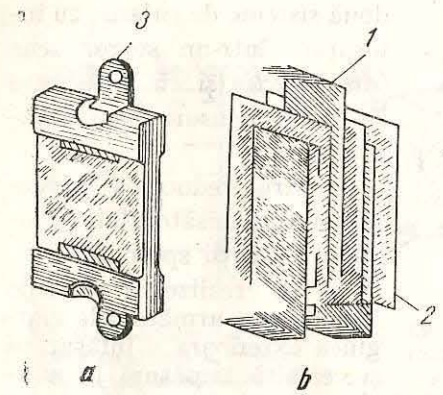


Fig. 3.4. Condensator cu mică:
a — construcția; *b* — principiul de realizare; *1* — armătură; *2* — izolator de mică; *3* — borne.

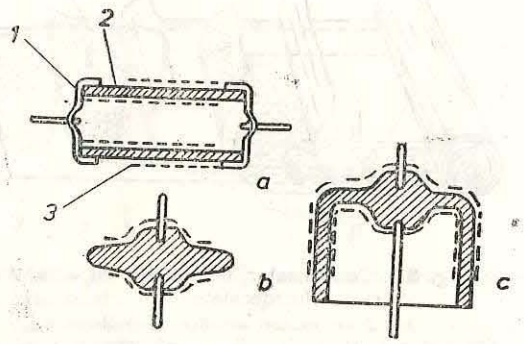


Fig. 3.5. Condensatoare ceramice:
a — tip tubular (*1* — terminale, *2* — izolație ceramică, *3* — armătură din peliculă de argint); *b* — tip disc sau plachetă; *c* — tip oală.

Ele se împart în două categorii:

— *tip I, cu coeficient de pierderi definit* (sînt utilizate în circuite la care pierderile în dielectric și stabilitatea capacității în funcție de temperatură sînt esențiale);

— *tip II, cu coeficient de pierderi nedefinit* (sînt utilizate în circuite la care pierderile în dielectric și stabilitatea capacității în funcție de temperatură nu prezintă importanță majoră).

În funcție de forma condensatorului se deosebesc condensatoare ceramice *disc, plachetă, oală* sau *tubulare* (fig. 3.5).

Conexiunile se lipesc cu aliaj de lipit pe stratul de argint.

Condensatoarele se pot proteja împotriva acțiunii mediului înconjurător prin acoperire cu ceară, rășină epoxidică, meterial plastic etc.

Condensatoare cu dielectric solid organic. *Condensatoarele cu hîrtie* sînt deosebit de mult utilizate în electrotehnică. Hîrtia folosită ca dielectric este poroasă și se impregnează în ceară, uleiuri minerale sau în uleiuri sintetice (ulei clorurat).

Condensatorul cu hîrtie este realizat prin rularea a două folii de aluminiu prin impregnarea cu mai multe straturi de hîrtie (fig. 3.6). Există

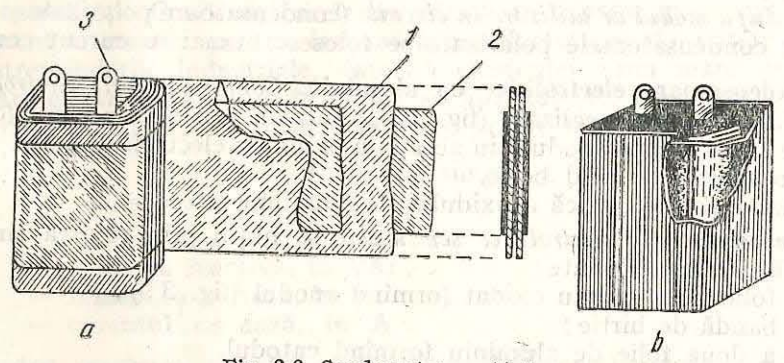


Fig. 3.6. Condensator cu hîrtie:
a — rularea condensatorului (*1* — dielectric; *2* — armătură, *3* — terminale); *b* — condensatorul introdus într-o carcasă.

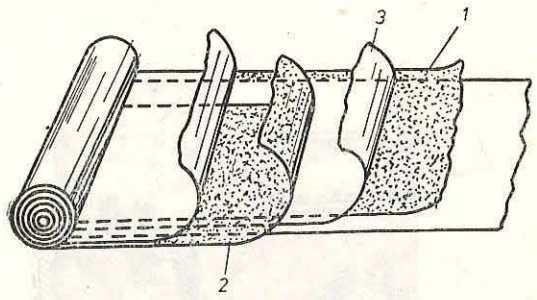


Fig. 3.7. Condensator neinductiv cu armături decalate:
1 şi *2* — armături metalice; *3* — dielectric.

două sisteme de rulare: cu înfăşurare într-un singur sens sau *inductiv* şi cu înfăşurare în două sensuri sau *neinductiv*.

Pentru reducerea inductanţei condensatorului se folosesc execuţii speciale:

— se realizează ieşirile legîndu-se o armătură la marginea exterioară a înfăşurării şi cealaltă armătură la marginea interioară a înfăşurării;

— fiecare armătură a condensatorului se leagă la capetele terminale, astfel încît spirele să fie scurtcircuitate între ele. Pentru aceasta este necesar ca armăturile să fie rulate decalat (fig. 3.7).

Condensatoarele pot fi rulate sub formă de rulou cilindric sau rulou aplatizat.

Condensatoarele pe pelicule din material plastic. Aceste condensatoare folosesc ca dielectric pelicule subţiri din materiale plastice.

Caracteristica mai importantă a acestor condensatoare este rezistenţa de izolaţie ridicată. Ele se pot folosi atît în curent continuu, cît şi în curent alternativ.

3. CONDENSATOARE ELECTROLITICE

Condensatoarele electrolitice se bazează pe reacţia chimică între un electrolit şi un metal (aluminiu, tantal), care duce la formarea unui strat de oxid izolant ce formează dielectricul. Acest dielectric are o constantă mare, ceea ce permite realizarea unor capacităţi mari în volume relativ mici.

Condensatoarele electrolitice se clasifică astfel:

— *după materialul folosit la realizarea armăturilor* (condensatoare cu aluminiu, cu tantal, cu niobiu etc.);

— *după tipul constructiv* (condensatoare cu electrolit lichid şi semiuscate);

— *după modul de utilizare în circuite* (condensatoare polarizate şi nepolarizate; condensatoarele polarizate se folosesc numai în curent continuu).

Condensatoare electrolitice cu aluminiu. *Condensatoarele electrolitice cu electrolit lichid* sînt realizate (fig. 3.8), dintr-un tub de aluminiu (catodul) în care se introduce anodul din aluminiu oxidat şi electrolitul lichid realizat dintr-o soluţie de acid boric.

Constanta dielectrică a oxidului de aluminiu este $\varepsilon = 7$.

Condensatoarele electrolitice semiuscate se obţin prin rularea simultană a următoarelor elemente:

— folie de aluminiu oxidat formînd anodul (fig. 3.9);

— bandă de hîrtie;

— a doua folie de aluminiu formînd catodul.

Ansamblul rulat se impregnează în soluţie de acid boric, glicoletilenă şi hidroxid de amoniu. Operaţia se execută sub vid. Deoarece pelicula de

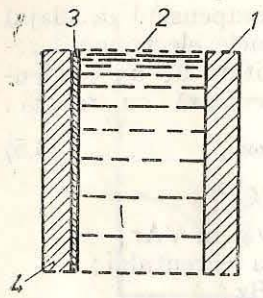


Fig. 3.8. Condensator electrolitic cu aluminiu, cu electrolit lichid, îndeplinind rol de armătură:
1 — carcasă; *2* — electrolit; *3* — peliculă de oxid cu rol dielectric; *4* — armătură oxidată (anod).

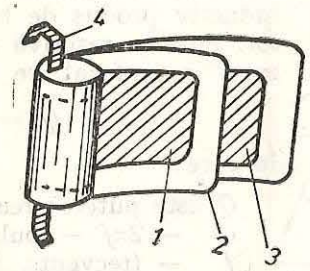


Fig. 3.9. Condensator electrolitic semiuscat:
1 — folie de aluminiu oxidată (anod); *2* — hîrtie impregnată în acid boric; *3* — folie de aluminiu (catod); *4* — terminale.

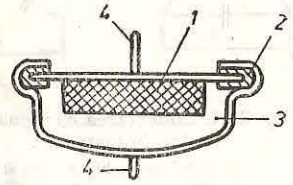


Fig. 3.10. Condensatoare electrolitice cu tantal:
1 — masa sinterizată; *2* — izolant; *3* — electrolit; *4* — terminale.

oxid se deteriorează în timpul tehnologiei de rulare şi impregnare, ea trebuie refăcută prin aplicarea unei tensiuni crescută treptat de la zero, timp de cîteva ore.

Astfel de condensatoare se fabrică cu capacităţi de la 1 la 5 000 μF şi tensiuni de la 6 la 500 V.

Condensatoarele electrolitice cu tantal. Faţă de condensatoarele electrolitice cu aliminiu, cele cu tantal funcţionează la temperaturi mai scăzute şi la o gamă mai largă de frecvenţe.

Cele mai utilizate sînt condensatoarele cu anozi sinterizaţi (fig. 3.10). Anodul este din bloc din pulbere de tantal sinterizată. Datorită fineţii pulberii şi porozităţii mari se pot atinge suprafeţe mari ale armăturilor condensatoarelor pe unitatea de volum şi anume 1 m^2/cm^3.

Anozii sinterizaţi se oxidează şi apoi se impregnează cu electrolit format din acid fosforic sau sulfuric şi clorură de litiu.

Catodul se realizează dintr-o capsulă de argint.

4. CONDENSATOARE INDUSTRIALE

Generalităţi. Condensatoarele industriale se folosesc în special în reţele de curent alternativ pentru îmbunătăţirea factorului de putere ($\cos \varphi$). În întreprinderile industriale, datorită existenţei unui mare număr de motoare electrice, factorul de putere se înrăutăţeşte. Din acest motiv, pe cabluri se va transporta în mod iniţial o putere reactivă:

$$Q_r = 3UI \sin \varphi, \tag{3.4}$$

unde:

Q_r este puterea reactivă, în VAr;
U — tensiunea pe fază, în V;
I — curentul de fază, în A.

Pentru creşterea puterii active ($P = 3UI \cos \varphi$) este necesar să se îmbunătăţească factorul de putere cu ajutorul condensatoarelor industriale. Condensatoarele au proprietatea de a produce un decalaj capacitiv al curen-

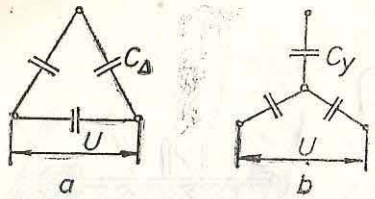


Fig. 3.11. Conectarea condensatoarelor industriale:
a — în triunghi; *b* — în stea.

tului față de tensiune, compensînd decalajul inductiv produs de bobinele electromotoarelor. Puterea reactivă debitată de un condensator monofazat se calculează cu relația:

$$Q_r = U^2 \omega C, \tag{3.5}$$

în care:

Q_r este puterea reactivă, în VAr;
ω — $2\pi f$ — pulsația curentului;
f — frecvența, în Hz;
C — capacitatea, în F.

Curentul care străbate un condensator se calculează cu relația:

$$I_C = \frac{Q_r}{U} \quad [\text{A}]. \tag{3.6}$$

Reactanța condensatorului este:

$$X_C = \frac{U}{I_C} \quad [\Omega]. \tag{3.7}$$

Condensatoarele pot fi montate în triunghi sau în stea (fig. 3.11). Ele se montează cît mai aproape de instalațiile consumatoare de putere. În cazul întreprinderilor industriale există un grup de consumatori de putere reactivă (motoare electrice) și compensarea se face cu ajutorul unei singure baterii de condensatoare.

Deoarece puterea reactivă absorbită din rețea este variabilă (în funcție de numărul de motoare aflate în funcțiune), este necesar ca bateria se fie divizată în elemente care să fie conectate succesiv la rețea (reglaj automat).

La punerea sub tensiune a condensatoarelor apar curenți mari, datorită curentului de încărcare al condensatoarelor. Uneori se montează în serie rezistențe sau inductanțe care să reducă valorile acestor curenți.

Reducerea puterii reactive este încurajată de întreprinderile furnizoare de electricitate.

Construcția. Condensatoarele industriale au dielectricul supus unor solicitări relativ mari, datorită funcționării la tensiune ridicată și frecvență industrială. Pierderile prin dielectric solicită de asemenea izolația, provocînd încălzirea condensatorului.

Materialele dielectrice, neavînd o rezistență infinită, permit trecerea unui curent electric de valoare redusă care produce pierderi de natura pierderilor ohmice.

Pierderi dielectrice mai importante sînt provocate de fenomenul de polarizare. În absența cîmpului electric, moleculele sînt orientate dezordonat, datorită mișcării termice (Browniene). Cînd armăturile condensatorului se leagă la o sursă de curent alternativ, la fiecare semialternanță cîmpul electric își schimbă sensul și, ca urmare, dipolii moleculelor trebuie să se rotească pentru a căpăta orientarea respectivă.

Pierderile dielectrice provocate de fenomenul de polarizare sînt similare pierderilor prin histerezis care apar la materialele magnetice. Fenomenul

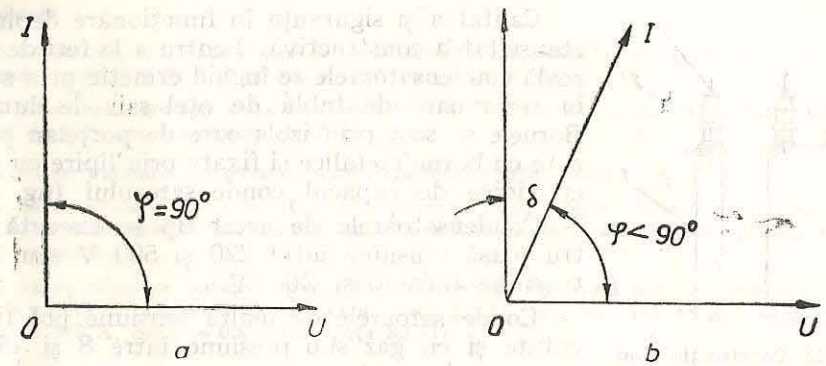


Fig. 3.12. Decalajul între curent și tensiune produs de un condensator:
a — ideal; *b* — real.

de polarizare modifică și decalajul între tensiune și curentul de circulație prin condensator. Dacă nu ar exista polarizarea, decalajul ar fi de 90° (fig. 3.12, *a*).

Din cauza pierderilor dielectrice unghiul de decalaj se micșorează cu unghiul δ (fig. 3.12, *b*). Acesta se numește *unghiul de pierderi dielectrice*. Pierderile dielectrice sînt proporționale cu tangenta acestui unghi:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_a}{I_c}, \tag{3.8}$$

unde:

I_a este curentul activ ce străbate dielectricul;
I_c — curentul capacitiv ce străbate dielectricul.

Tangenta unghiului de pierderi se exprimă în procente.

În general, ca dielectric se folosește hîrtia de diferite fabricații:

— hîrtia din bumbac are pierderi foarte reduse (0,2%), dar este scumpă;
— hîrtie sulfit;
— hîrtia natron (cel mai des folosită).

Hîrtia folosită trebuie să îndeplinească o serie de condiții: grosime uniformă, lipsa porozității, rezistență mecanică mare, absorbție ridicată, rigiditate dielectrică bună, pierderi reduse.

Pierderile în dielectric sînt influențate de temperatură, de tipul hîrtiei folosite, de gradul de netezire (satinare) al hîrtiei și impregnare.

Ca materiale de impregnare se folosește uleiul mineral sau uleiul clorurat (difenil). Uleiul clorurat este mai scump, dar prezintă o serie de avantaje: neinflamabilitate, tangenta unghiului de pierderi dielectrice redusă, rigiditate dielectrică mare etc.

Uneori condensatoarele industriale sînt folosite în curent alternativ de frecvență ridicată, ca de exemplu la generatoarele de medie frecvență utilizate pentru călire, lipire etc.

Condensatoarele cu dielectric hîrtie-ulei nu sînt folosite la frecvențe mai mari de 10 kHz, datorită creșterii mari a pierderilor cu sporirea frecvenței.

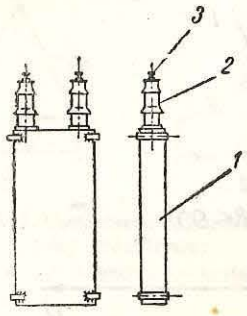


Fig. 3.13. Construcția unui condensator monofazat industrial:
1 — cuvă cu ulei; *2* — izolator; *3* — bornă.

Calitatea și siguranța în funcționare depind de etanșeitatea constructivă. Pentru a le feri de umezeală condensatoarele se închid ermetic prin sudare în rezervoare de tablă de oțel sau de aluminiu. Bornele se scot prin izolatoare de porțelan prevăzute cu borne metalice și fixate prin lipire cu rășini epoxidice de capacul condensatorului (fig. 3.13).

Condensatoarele de acest tip se execută pentru joasă tensiune între 220 și 500 V sau înaltă tensiune între 6 și 20 kV.

Condensatoarele de înaltă tensiune pot fi executate și cu gaz sub presiune între 8 și 15 bar.

Condensatoarele se execută fie în construcție monofazată fie în construcție trifazată, montate în același bloc.

Exemplu de calcul

a) Să se calculeze capacitatea unui condensator conectat la o tensiune de 220 V și având o suprafață a plăcilor de 0,2 m². Distanța între plăci este de 0,2 mm, iar dielectricul este hîrtie. Permitivitatea relativă a dielectricului este $\varepsilon_r = 2$. Permitivitatea absolută este:

$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0 = 2 \frac{1}{4\pi 9 \cdot 10^9} = 1{,}75 \cdot 10^{-11}.$$

Capacitatea condensatorului este:

$$C = \varepsilon \frac{S}{d} = \frac{1{,}75 \cdot 10^{11} \cdot 0{,}2}{0{,}0002} = 1{,}75 \cdot 10^{-6}\text{F} = 17{,}5 \text{ nF}.$$

b) Să se calculeze sarcina electrică a unui condensator având o capacitate de 500μF fiind alimentat la o tensiune de 500 V.

$$Q = CV = 500 \cdot 10^{-6} \cdot 500 = 0{,}25 \ C.$$

c) Să se calculeze variația capacității unui condensator ceramic de 100 pF la temperatura de 20°C, atunci cînd temperatura ambiantă se modifică la +80°C, coeficientul de temperatură fiind $100 \cdot 10^{-6}$/K.

$$C_t = C_{t_0}[1 - K(t - t_0)]$$

$$C_t = 100[t - 100 \cdot 10^{-6}(80 - 20)] = 99{,}4 \text{ pF}.$$

d) Care este puterea reactivă pe care o poate debita un condensator cu ulei pentru îmbunătățirea factorului de putere avînd capacitatea de 400 μF și tensiunea de alimentare 380V?

$$Q = U^2 \cdot \omega \cdot C = 380^2 \cdot 314 \cdot 400 \cdot 10^{-6} = 18\,000 \text{ VAr} = 18 \text{ kVAr}.$$

e) Să se calculeze curentul ce străbate un condensator ce poate debita o putere reactivă $Q_r = 20$ kVAr, precum și reactanța condensatorului, știindu-se că tensiunea de alimentare este de 380 V.

$$I_C = \frac{Q_r}{U} = \frac{20\,000}{380} = 52{,}8 \text{ A};$$

$$X_C = \frac{U}{I_C} = \frac{380}{52{,}8} = 7{,}2 \ \Omega.$$

Aplicații

3.1. Să se calculeze capacitatea în microfarazi a unui condensator care a fost încărcat cu o sarcină electrică de 5 C la o diferență de potențial de 500 V.

3.2. Să se calculeze suprafața armăturilor unui condensator cu aer având capacitatea de 100μF și distanța între armături de 2 mm.

3.3. Să se măsoare capacitatea unui condensator prin metoda punții RLC.

3.4. Să se măsoare cu puntea RLC variația capacității unui condensator cu temperatura supunîndu-se condensatorului acțiunii unei surse de căldură și măsurîndu-se temperatura cu un termometru.

3.5. Să se calculeze puterea aparentă și capacitatea necesară pentru compensarea factorului de putere în cazul unei rețele trifazate, avînd o tensiune de fază de 220 V, un curent absorbit de 100 A, $\cos \varphi = 0{,}8$ și frecvența 50 Hz.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. *Ce este picofaradul și cum se mai numește el?*
2. *Cum variază capacitatea unui condensator cu temperatura?*
3. *Enumerați principalele domenii de utilizare a condensatoarelor.*
4. *Ce tipuri de condensatoare se caracterizează printr-o capacitate mare într-un volum relativ mic?*
5. *Care este domeniul de folosire al condensatoarelor avînd ca dielectric mediul gazos — aerul?*

CAPITOLUL 4

BOBINE

A. GENERALITĂŢI

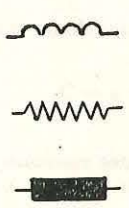
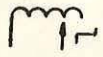
1. DEFINIŢII

Prin bobină se înţelege un conductor electric astfel înfăşurat, încît să formeze una sau mai multe spire, cu scopul de a crea un cîmp magnetic.

Bobinele au o largă utilizare în tehnică atît în domeniul curenţilor slabi, cît şi în domeniul curenţilor tari. Semnele convenţionale pentru bobine sînt indicate în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1

Semne convenţionale pentru înfăşurări şi inductanţe

Nr. crt.	Semnul convenţional	Denumirea semnului convenţional
1		Înfăşurare, bobină de compensare, bobină de şoc, bobină limitatoare Se recomandă semnul *a* În cazul folosirii semnalui *a* se poate face o diferenţiere între diverse înfăşurări care apar în aceeaşi schemă, prin numărul de semicercuri. Astfel, pentru înfăşurările serie, se vor desena mai puţine semicercuri, în raport cu înfăşurările derivaţie
2		Inductanţă cu miez feromagnetic
3		Inductanţă cu miez feromagnetic şi întrefier
4		Inductanţă cu prize fixe
5		Inductanţă continuu variabilă cu miez feromagnetic
6		Inductanţă variabilă cu contact mobil, cu variaţie în trepte

2. CLASIFICARE

După **domeniul de utilizare :**

— *bobine pentru curenţi slabi* (telecomunicaţii, automatizări etc.) ;
— *bobine pentru curenţi tari* (declanşatoare, electromagneţi, electromotoare, transformatoare, bobine de reactanţă etc). ;
— *bobine de inducţie* (aparate electromedicale, aprinderea amestecurilor explozive etc.).

După **construcţie :**

— *bobine fără carcasă,* atunci cînd numărul de spire este mic şi grosimea conductorului suficientă pentru a asigura rigiditatea bobinei. Uneori, aceste bobine sînt realizate direct pe miezul magnetic ;
— *bobine cu carcasă* din materiale stratificate (pertinax, textolit), din materiale termoplastice (metilmetacrilat), din materiale termorigide (bachelită, melamină, poliester etc.), din ceramică (steatit, porţelan).

După **formă :**

— bobine cilindrice ;
— bobine paralelipipedice ;
— bobine toroidale.

După **frecvenţa de utilizare :**

— bobine de joasă frecvenţă ;
— bobine de înaltă frevenţă (radiofrevenţă) ;
— bobine de audiofrevenţă.

3. PARAMETRII NOMINALI

Principalii parametri ai bobinelor sînt :

Tensiunea nominală (U_n) este tensiunea maximă pentru care se dimensionează izolaţia bobinelor faţă de piesele metalice înconjurătoare.

Tensiunea de serviciu (U_s) este tensiunea la care o bobină trebuie să lucreze timp nelimitat. De exemplu, pentru un electromagnet cu tensiunea nominală de 500 V se pot realiza bobine pentru tensiuni de serviciu cuprinse între 12 şi 500 V. Atît tensiunile nominale, cît şi cele de serviciu sînt standardizate.

Felul curentului (continuu sau alternativ). *Bobinele de curent continuu* limitează curentul ce trece prin valoarea rezistenţei ohmice :

$$I = \frac{U}{R}, \tag{4.1}$$

unde :

I este curentul, în A ;
R — rezistenţa, în Ω ;
U — tensiunea, în V.

Din acest motiv bobinele de curent continuu au un număr de spire mult mai mare decît *bobinele de curent alternativ* la care curentul este limitat de impedanţa bobinei :

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}}, \tag{4.2}$$

unde:

Z este impedanța, în Ω;
L — inductanța proprie, în H.

Frecvența curentului (f) este importantă atît în domeniul utilajelor folosite în curenți slabi, cît și în domeniul acelora de curenți tari, ea determinînd caracteristica constructivă a bobinei.

Rezistența bobinei (R) este importantă în special la bobinele folosite în curent continuu și în domeniul curenților slabi de înaltă frevență.

Factorul de calitate (Q) reprezintă raportul dintre reactanța și rezistența bobinei. El are importanță numai la bobinele de înaltă frevență.

Inductanța proprie (L) a unei bobine este raportul dintre fluxul magnetic produs într-un circuit de curentul care trece prin el și intensitatea curentului respectiv. Acest parametru este folosit la bobine pentru telecomunicații, bobine de reactanță etc.

Sensul de înfășurare este important numai la anumite bobine ca de exemplu: transformatoare, bobine de curent continuu etc.

B. CONSTRUCȚIA BOBINELOR

1. MATERIALE FOLOSITE LA CONSTRUCȚIA BOBINELOR

Bobinele se realizează din conductor de cupru sau aluminiu izolat.

Conductoarele pot fi izolate și cu combinații de mai multe materiale izolante, ca de exemplu: email și mătase, email și bumbac etc. În cazul în care sînt izolate cu un singur tip de material, acesta poate fi aplicat în unul sau mai multe straturi.

Uneori conductoarele bobinelor de înaltă frevență se acoperă prin argintare pentru a se reduce rezistența ohmică la curenții de înaltă frevență.

La conductoarele parcurse de curenți de înaltă frecvență apare efectul pelicular, care se manifestă prin repartiția neuniformă în secțiunea conductorului a densității curentului, astfel încît apare o creștere a acestei densități în straturi de la suprafața conductorului.

Secțiunea conductoarelor folosite pentru realizarea bobinelor poate fi de mai multe feluri:

— rotundă plină;
— dreptunghiulară sau pătrată;
— lițată (pentru înaltă și joasă frecvență);
— țeavă (pentru înaltă frevență).

2. BOBINE PENTRU ÎNALTĂ FRECVENȚĂ (RADIOFRECVENȚE)

Bobinele pentru frecvențe înalte folosite în radiocomunicații sînt construite fie cu carcasă din material izolant fără miez, fie cu carcasă conținînd un miez din oțel special (ferocart sau ferită).

Inductanța L a unei bobine este dată de relația:

$$L = \frac{n^2}{\mathcal{R}} \quad [\mathrm{H}], \tag{4.3}$$

în care:

n este numărul de spire;
$\mathcal{R}$ — reluctanța bobinei, în A/Wb,

iar reluctanța este egală cu:

$$\mathcal{R} = \frac{l}{\mu s},$$

unde:

l este lungimea medie a circuitului magnetic, în m;
μ — permeabilitatea miezului bobinei, în H/m;
s — secțiunea miezului bobinei, în m².

Reluctanța este raportul dintre forța magnetomotoare (tensiunea magnetomotoare) dintr-o porțiune de circuit magnetic și fluxul magnetic ce trece prin circuit.

Reluctanța este similară rezistenței electrice și este cu atît mai mică, cu cît permeabilitatea magnetică este mai mare. Deci, o bobină cu miez de oțel va avea inductanța proprie mult mai mare decît cea a unei bobine în aer, deoarece permeabilitatea magnetică a oțelului este mult mai mare decît cea a aerului.

Prin introducerea miezului de oțel se reduce numărul de spire la aceeași inductanță proprie, deoarece:

$$n = \sqrt{\mathcal{R}L}.$$

Prin micșorarea numărului de spire și prin micșorarea diametrului bobinei rezistența ei scade foarte mult, ceea ce permite creșterea factorului de calitate Q.

Bobinele cu ferită sînt mult utilizate în tehnica radiocomunicațiilor. Faptul că miezul este filetat și se poate deplasa în interiorul bobinei permite schimbarea în limite destul de mari a inductanței. În acest mod operațiile de reglaj se simplifică foarte mult. De asemenea, bobinele cu miez de ferită au cîmpul foarte concentrat în miezul lor ceea ce reduce mult inductanța între bobine alăturate.

Miezul de ferită este realizat din oxizi de fier (Fe_2O_3) și oxizii metalelor bivalente, supuși operațiilor de amestecare cu lianți și apoi sinterizați. Ca metale bivalente se folosesc magneziul, bariul, nichelul etc.

Rezistivitatea electrică a feritelor este de $10^4 - 11^{11}$ ori mai mare decît cea a fierului, ceea ce permite reducerea pierderilor la frecvențe înalte.

Pentru micșorarea capacității proprii a bobinelor, acestea se execută uneori cu bobinaj încrucișat de tip fagure (fig. 4.1).

Uneori, pentru mărirea inductanței se realizează mai multe bobine pe aceeași carcasă. În unele cazuri, pentru a se asigura rigiditatea mecanică a bobinei, aceasta se impregnează în ceară, rășini epoxidice etc.

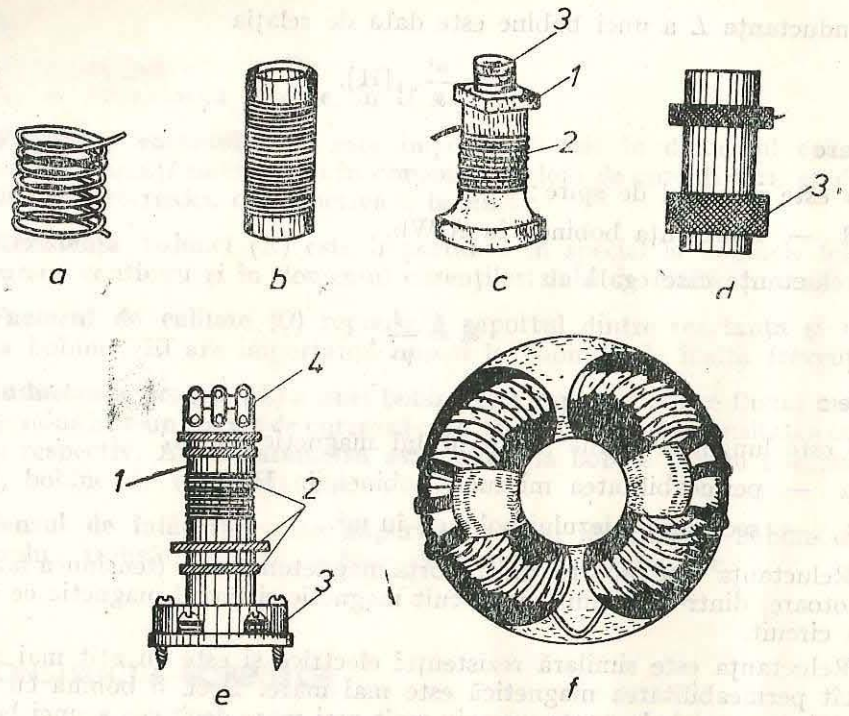


Fig. 4.1. Diferite tipuri de bobine folosite în curenți slabi:
a — bobină fără carcasă; *b* — bobină pe carcasă izolantă; *c* — bobină cu miez de ferită (*1* — carcasă izolantă, *2* — înfășurare, *3* — miez de ferită); *d* — bobine tip fagure (bobine încrucișate); *e* — mai multe bobine pe carcasă (*1* — carcasă, *2* — înfășurări, *3* — soclu de fixare, *4* — borne); *f* — bobină deflectoare pentru tip cinescop.

3. BOBINE PENTRU JOASĂ FRECVENȚĂ

Bobine destinate aparatelor electrice și transformatoarelor. Numărul de spire n al unei bobine de curent alternativ se poate afla cu relația:

$$n = \frac{U}{4{,}44\, B f S}, \qquad (4.4)$$

în care:

U este tensiunea aplicată bobinei, în V;
B — inducția electromagnetică, în T;
f — frecvența rețelei, în Hz;
S — secțiunea miezului, în m².

Bobinele pentru frecvențe joase se realizează în formă cilindrică sau paralelipipedică. Ele sînt destinate aparatelor electrice și pot fi cu sau fără carcasă.

Carcasele se execută în general din materiale termorigide: bachelită, poliester sau aminoplast. Utilizarea materialelor termoplaste este limitată în general de rezistența mai scăzută la temperatură față de cea a materialelor termorigide. De exemplu, poliesternul are o rezistență la temperatură (metoda Vicat) de 60 °C, polistirenul rezistent la șoc și poliamidă 6 (relon) de 80 °C.

Pentru bobinare se folosesc conductoare de curpu de secțiune rotundă sau dreptunghiulară izolate cu email, bumbac sau fire de sticlă. Ca materiale izolante între straturi se folosesc: hîrtie pelur, bandă izolatoare cu strat adeziv (tip scoci), țesătură din sticlă lăcuită sau nelăcuită etc.

Bobinele sînt acoperite la exterior cu bandă izolantă de bumbac (jaconet), bandă din țesătură de mătase lăcuită, bandă din țesătură de sticlă, preșpan subțire etc.

Capetele bobinelor executate de sîrmă subțire se leagă la terminale flexibile izolate cu cauciuc siliconic. Lipirea terminalelor se execută cu aliaj de lipit Lp 60 (60% staniu restul plumb). Ca decapant se folosește colofoniul (sacîz), care este activ numai la temperatura ciocanului de lipit (250 °C). După răcire, resturile de colofoniu rămîn pasive și nu atacă conductorul. Uneori colofoniul se introduce în interiorul aliajului de lipit livret sub formă de tub (fludor). Locul lipiturii se curăță de email cu ajutorul hîrtiei de emeri (șmirghel) și se izolează cu bandă adezivă.

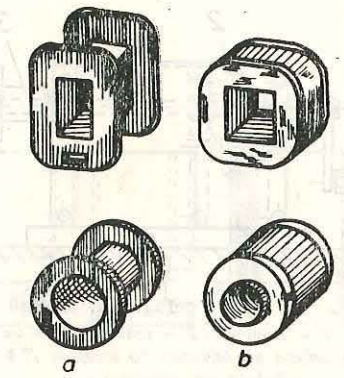


Fig. 4.2. Bobine pentru aparatele electrice:
a — carcase; *b* — carcase cu bobină.

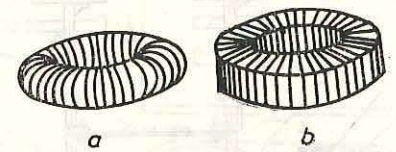


Fig. 4.3. Bobine toroidale:
a — cu secțiunea miezului circulară; *b* — cu secțiunea miezului dreptunghiulară.

Capetele libere ale terminalelor se lipesc la bornele bobinei care sînt executate din cupru sau alamă și sînt prevăzute cu șuruburi pentru legarea conductoarelor la alimentarea la rețea.

În figura 4.2 sînt reprezentate carcase de bobine și bobine destinate aparatelor electrice.

O altă categorie specifică de bobine sînt cele toroidale (fig. 4.3), care se folosesc pentru realizarea transformatoarelor de curent destinate alimentării ampermetrelor sau releelor și declanșatoarelor de curent. Aceste bobine se realizează de obicei fără carcasă.

Bobinarea se face cu mașini speciale direct pe miezul de fier de formă inelară, după ce acesta a fost în prealabil izolat cu bandă de bumbac, bandă uleiată, bandă de scoci sau bandă de sticlă.

Mașinile de bobinat pot fi manuale (fig. 4.4), semiautomate sau automate. Mașinile semiautomate permit înfășurarea mai multor bobine simultan (fig. 4.5).

Unele bobine lucrează în condiții grele, de exemplu: vibrații, șocuri, umiditate sporită etc. Aceste bobine trebuie să fie supuse operațiilor de impregnare realizate în instalații speciale. Ca materiale de impregnare se folosesc: lac oleobituminos, lac oleogliptalic sau rășină epoxidică.

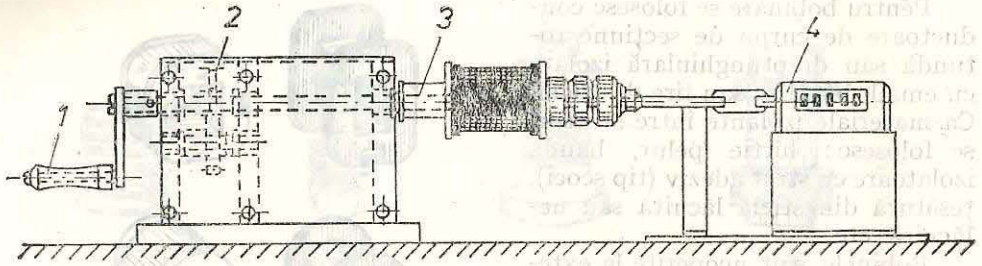


Fig. 4.4. Maşină manuală de bobinat:
1 — manivelă; *2* — reductor; *3* — ax pentru fixarea bobinei; *4* — numărător de spire.

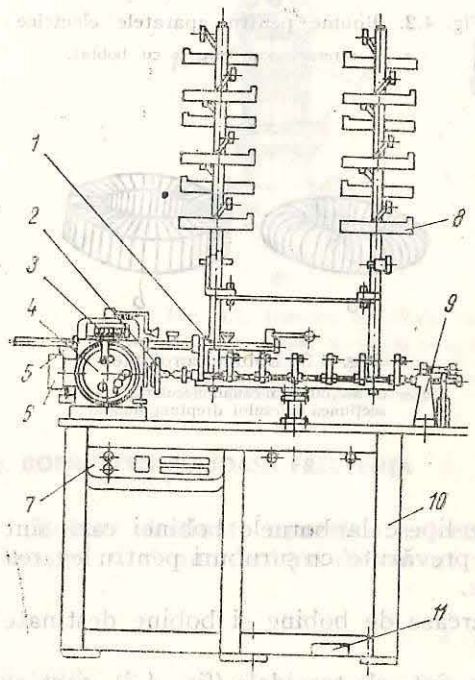


Fig. 4.5. Maşină semiautomată de bobinat:
1 — mecanismul de ghidare a conductorului; *2* — arbore principal; *3* — numărător de spire; *4* — reductor; *5* — electromotor de acţionare; *6* — curea de antrenare; *7* — sertarul cuprinzînd echipamentul electric de comandă; *8* — derulator de sîrmă; *9* — arborele de montare a bobinelor; *10* — masă suport; *11* — pedală de acţionare.

Impregnarea bobinelor prezintă următoarele avantaje:

— creşteraa rezistenţei de izolaţie între spirele bobinei şi între spire şi masă;

— creşterea rezistenţei mecanice la vibraţii şi sarcini, bobina formînd un bloc compact;

— îmbunătăţirea transmiterii căldurii din interior către exterior prin faptul că lacul de impregnare umple golurile dintre spire.

După impregnare, bobinele se introduc în cuptor pentru uscarea şi polimerizarea materialului de impregnare, la o temperatură cuprinsă între 100 şi 120°C.

Durata operaţiei de polimerizare este între 16 şi 10 h, fiind cu atît mai redusă, cu cît temperatura este mai ridicată.

O altă metodă de protejare a bobinelor este înglobarea acestora în răşini epoxidice sau răşini poliesterice. Pentru turnarea răşinii se folosesc matriţe de turnare, executate din aluminiu (fig. 4.6) sau carcase de bobine special construite. Bobinele se introduc în matriţe după ce acestea au fost unse în prealabil cu vaselină siliconică pentru a se împiedica lipirea răşinii pe matriţă. Răşina se toarnă pînă la umplerea matriţei, avîndu-se grijă să se scoată în afară terminalele bobinei.

Răşina epoxidică polimerizează în cuptor la temperatura de 120°C, iar răşina poliesterică în aer la temperatura de 20°C (o scădere a temperaturii cu 5K duce la creşterea timpului de întărire cu 5h).

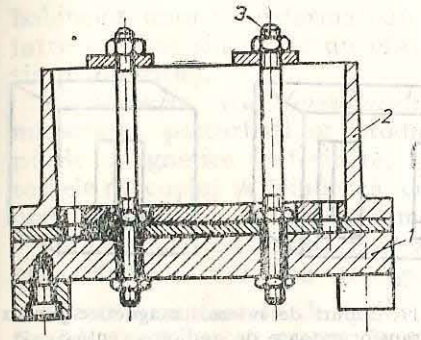


Fig. 4.6. Matriţă de turnare a răşinilor epoxidice:
1 — suport; *2* — corp matriţă; *3* — şurub de strîngere.

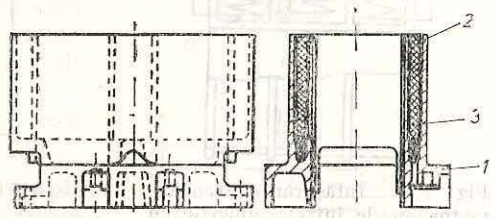


Fig. 4.7. Bobină cu carcasă de bachelită pentru umplerea cu răşină:
1 — carcasă; *2* — bobină; *3* — răşină.

În figura 4.7 este reprezentată o carcasă construită special pentru umplerea cu răşină.

În figura 4.8 este reprezentată o bobină cu turnare în matriţă, avînd un suport de bachelită pentru fixarea bobinei pe aparat.

4. BOBINE DE AUDIOFRECVENŢĂ

Bobinele de audioferecvenţă se folosesc la transformatoarele de joasă frecvenţă care se montează la întrarea, la ieşirea sau între etajele de amplificare ale amplificatoarelor de joasă frecvenţă. Aceste transformatoare sînt astfel calculate, încît să permită trecerea frecvenţelor din banda de lucru a amplificatorului (de exemplu între 100 şi 15 000 Hz) fără a se produce distorsiuni (deformări ale semnalului de audiofrecvenţă).

Transformatoarele de audiofrecvenţă au o construcţie similară celei a transformatoarelor de joasă frecvenţă, avînd cîteva particularităţi.

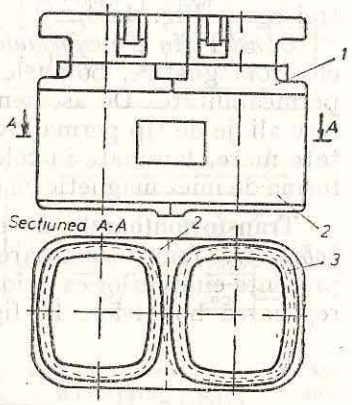


Fig. 4.8. Bobină cu carcasă de bachelită pentru turnarea răşinii pe matriţe:
1 — carcasă; *2* — răşină; *3* — bobină.

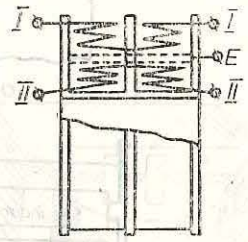


Fig. 4.9. Construcţia simplă a înfăşurărilor transformatorului de intrare simetric:
I–I — înfăşurare primară; *II–II* — înfăşurare secundară; *E* — ecran.

Transformatoarele de intrare în amplificator. *Construcţia bobinelor.* Pentru a se reduce sensibilitatea transformatoarelor faţă de cîmpurile electromagnetice exterioare, înfăşurarea se împarte în două jumătăţi identice atît ca număr de spire, cît şi ca dimensiuni. În această construcţie (fig. 4.9), carcasa din material izolant este împărţită în două secţiuni identice, în care se bobinează cîte o jumătate din înfăşurarea secundară (jos) şi din cea primară (sus). Bobinarea celor două jumătăţi de bobină se execută în sensuri opuse. Între înfăşurarea primară şi secundară se aşază un strat metalic, pentru ecranarea înfăşurărilor una faţă de cealaltă.

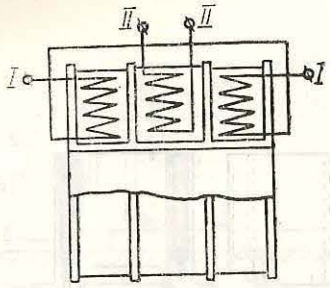


Fig. 4.10. Înfăşurările transformatorului de intrare simetric cu trei secţii:

I—I — înfăşurare primară.;
II—II — înfăşurare secundară.

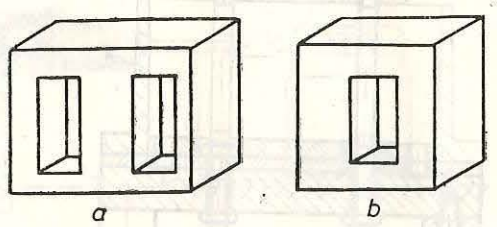


Fig. 4.11. Tipuri de miezuri magnetice pentru transformatoare de audiofrecvenţă:

a — în manta; *b* — cu coloane.

Pentru a se obţine o simetrie mai exactă se foloseşte construcţia cu trei secţii (fig. 4.10).

Construcţia transformatorului. Pentru a se reduce acţiunea cîmpurilor electromagnetice, bobinele se protejează cu un ecran magnetic cu înaltă permeabilitate. De asemenea, pentru realizarea miezului magnetic se folosesc aliaje de tip permalloy (aliaj de fier 20% şi nichel 80%) cu permeabilitate mare, laminate în tole cu grosimea de 0,35—1 mm. În plus se preferă forma de miez magnetic cu două coloane în locul miezului tip manta (fig.4.11).

Transformatoarele de cuplaj între etajele de amplificare. *Construcţia bobinelor.* Transformatoarele de cuplaj sînt, de asemenea, influenţate de prezenţa cîmpurilor exterioare. Din acest motiv se iau măsuri speciale pentru realizarea bobinelor. În figura 4.12 sînt reprezentate diferite realizări ale

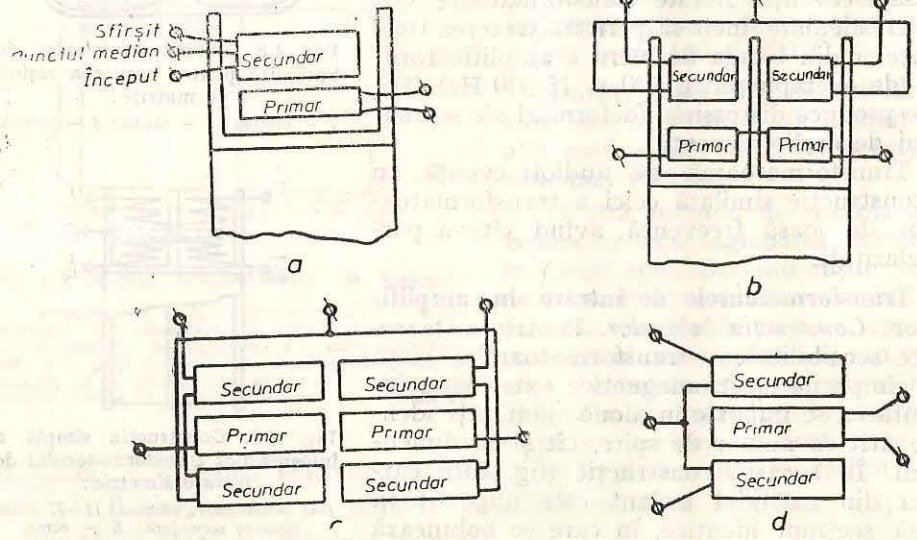


Fig. 4.12. Diferite moduri de aşezare a înfăşurărilor la transformatoarele de cuplaj între un etaj simplu şi un etaj în contratimp:

a — cel mai simplu mod de aşezare a înfăşurărilor; *b* — aşezarea simetrică a înfăşurărilor; *c* — aşezarea simetrică a înfăşurărilor avînd o inductanţă de scăpări redusă; *d* — metodă simplificată de execuţie a bobinelor avînd o inductanţă de scăpări redusă.

bobinelor unor transformatoare de cuplaj între un etaj simplu şi un etaj în contratimp (opoziţie).

Construcţia transformatorului. Pentru micşorarea perturbaţiilor produse de cîmpurile magnetice exterioare, transformatoarele de cuplaj se blindează cu tablă de oţel cu grosimea de 0,5—1 mm.

Miezul acestor transformatoare se execută deobicei tot din tole permalloy.

Transformatoarele de ieşire din amplificator. *Construcţia bobinelor.* Bobinele transformatorului trebuie să permită cuplarea etajului final la o sarcină simetrică (filtru, difuzor). În cazul amplificatoarelor cu tuburi electronice, între înfăşurarea primară şi cea secundară apare o diferenţă de potenţial însemnată, ceea ce impune măsuri speciale de izolare electrică: carcase separate pentru înfăşurarea primară şi secundară, turnarea în răşină epoxidică a bobinelor, ecran la pămînt între înfăşurarea primară şi secundară, înfăşurarea primară împărţită în secţiuni etc. Pentru micşorarea distorsiunilor se iau diferite măsuri: creşterea secţiunii miezului, alternarea înfăşurărilor primare şi secundare (fig. 4.13).

Construcţia transformatorului. În cazul transformatoarelor de ieşire de putere mică, pentru realizarea miezului magnetic se folosesc tole de permalloy. La transformatoarele de putere medie şi mare se preferă utilizarea tolelor de oţel cu siliciu, laminate la rece. Aceste tole au porţiunea rectilinie a curbei de magnetizare mai lungă decît a celor laminate la cald, permiţînd creşterea inducţiei maxime cu 15—20%.

Transformatoarele de ieşire de putere mică şi medie se execută cu miezuri de tip manta, iar cele de putere mare cu miezuri cu două coloane.

Transformatoarele de putere mică se ecranizează cu un blindaj executat din tablă de oţel. Cele de putere mare se pot executa în ulei, pentru a asigura atît răcirea, cît şi ecranarea (cuva cu ulei serveşte ca ecran) sau în aer, montîndu-se cît mai departe de cîmpurile magnetice perturbatoare (transformatoarele de alimentare). În figura 4.14 este reprezentată construcţia unui transformator de ieşire de putere mică.

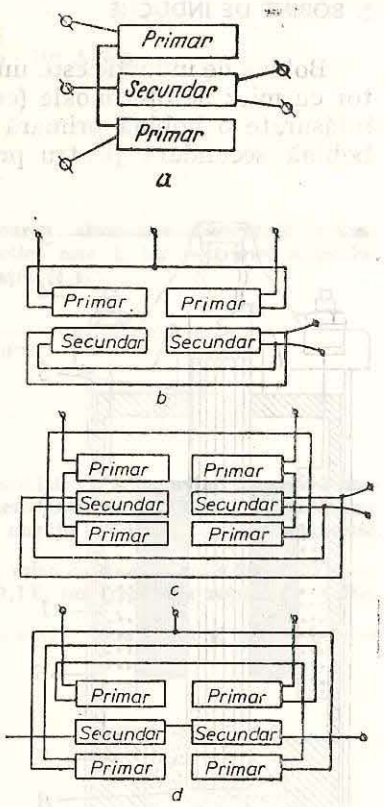


Fig. 4.13. Diferite metode de aşezare a înfăşurărilor unui transformator de ieşire:

a — metoda cea mai simplă; *b* — varianta simplă cu secţiile înfăşurării secundare legate în paralel; *c* — varianta cu inductanţa de scăpări micşorată; *d* — varianta cu inductanţă de scăpări micşorată cu secţiile înfăşurării secundare legate în serie.

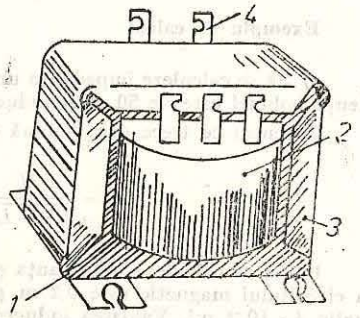


Fig. 4.14. Construcţia unui transformator de ieşire de putere mică:

1 — miez magnetic; *2* — înfăşurări; *3* — carcasă metalică; *4* — borne de legătură

Bobina de inducție este un aparat electric constînd dintr-un transformator cu miez de oțel moale (cu procent de carbon sub 0,05%), pe care sînt înfășurate o bobină primară alimentată la o sursă de tensiune joasă și o bobină secundară pentru producerea unei tensiuni înalte (fig. 4.15).

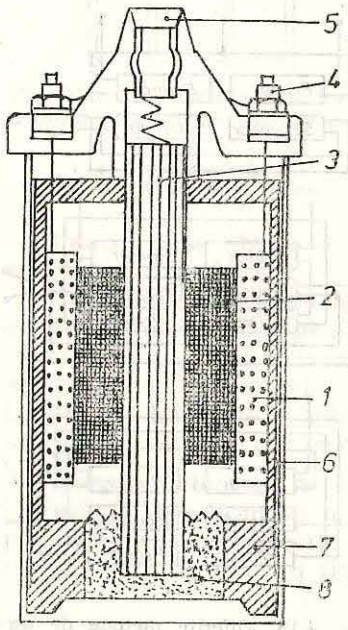
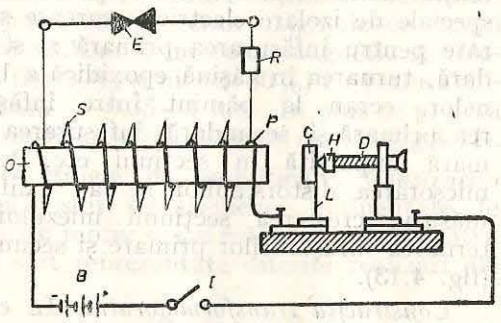


Fig. 4.15. Construcția unei bobine de inducție tip auto: *1* — înfășurare primară (12 V); *2* — înfășurare secundară (15 kV); *3* — miez magnetic; *4* — bornă de alimentare (12 V); *5* — bornă de ieșire (15 kV) (a doua bornă este legată la masă); *6* — carcasă de protecție; *7* — carcasă izolantă; *8* — material izolant.

Fig. 4.16. Bobină de inducție cu ruptor: *P* — bobină primară; *S* — bobina secundară; *O* — miez magnetic; *E* — eclator; *R* — rezistor de limitare; *B* — baterie de alimentare; *I* — întreruptor; *C* — ciocănel atras de miezul magnetic; *L* — lamelă vibratoare; *H* — contact de întrerupere; *D* — șurub de reglare.



În cazul alimentării primarului bobinei de la o sursă de curent continuu, pentru producerea fenomenului de inducție electromagnetică este necesar să se prevadă fie un întreruptor exterior, fie un sistem de vibrator asemănător mecanismului soneriei electromagnetice (fig. 4.16).

Bobina de inducție se folosește la aparate electromedicale, la sistemul de aprindere al motoarelor cu ardere internă etc.

Exemplu de calcul

a) Să se calculeze impedanța unei bobine alimentată la 380 V, 50 Hz, știindu-se că rezistența bobinei este de 50 Ω și inductanța proprie 0,2 H.

Curentul ce trece prin bobină se calculează cu relația (4.2):

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}} = \frac{380}{\sqrt{50^2 + 0{,}2^2 \cdot 3{,}14^2}} = 4{,}71 \text{ A}.$$

b) Să se calculeze inductanța proprie a unei bobine avînd 1 000 spire. Lungimea medie a circuitului magnetic este 0,2 m, permeabilitatea $1 \cdot 10^{-4}$ H/m, iar secțiunea miezului magnetic $4 \cdot 10^{-4}$ m². Valoarea inductanței proprii se calculează cu relația (4.3):

$$L = \frac{n^2}{\mathcal{R}},$$

unde:

$$\mathcal{R} = \frac{}{\mu s} = \frac{0{,}2}{1 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^{-4}} = 5 \cdot 10^6 \text{ A/Wb},$$

iar

$$L = \frac{1\,000}{5 \cdot 10^6} = 0{,}2 \text{ H}.$$

c) Să se calculeze numărul de spire al unei bobine de curent alternativ alimentată la tensiunea de 380 V, știindu-se că inductanța electromagnetică este 1, iar secțiunea miezului $8 \cdot 10^{-2}$. Numărul de spire al bobinei se calculează cu relația (4.4):

$$n = \frac{U}{4{,}44\ BfS} = \frac{380}{4{,}44 \cdot 1 \cdot 50 \cdot 8 \cdot 10^{-4}} = 2130 \text{ spire}.$$

Aplicații

1. Să se calculeze inductanța proprie a unei bobine toroidale cu miez, avînd lungimea medie a circuitului magnetic 0,1 m, secțiunea miezului magnetic 0,02 m², inducția 1T, tensiunea aplicată 220 V, iar frecvența rețelei de 50 Hz. Se vor neglija scăpările de flux magnetic

2. Să se calculeze numărul de spire al unei bobine cu miez cu dimensiunile 20 × 20 mm, alimentată, la tensiunea de 220 V, inducția în miez fiind de 1,1T, iar frecvența rețelei de 60 Hz.

3. Să se măsoare cu puntea RLC inductanța proprie a unei bobine în aer și a unei bobine identice cu miez de oțel.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. *Ce materiale se folosesc la construcția bobinelor?*
2. *Ce tipuri de bobine de radiofrecvență se folosesc?*
3. *Să se descrie construcția bobinelor de joasă frecvență.*
4. *Ce deosebire există între o bobină, de joasă frecvență și una de înaltă frecvență?*
5. *Care sînt caracteristicile constructive principale ale bobinelor transformatoarelor?*
6. *Cîte tipuri de bobine se folosesc la electromotoarele de curent alternativ?*
7. *La ce se folosesc transformatoarele de audiofrecvență?*
8. *Cum funcționează o bobină de inducție cu ruptor (ciocănel)?*

CAPITOLUL 5

CONTACTE ELECTRICE

A. GENERALITĂŢI

Contactul electric reprezintă atît locul de trecere a curentului de la o piesă conductoare de curent la altă piesă similară conductoare, cît şi aceste piese.

În toate instalaţiile electrice, în construcţia aparatelor şi maşinilor electrice aceste locuri de contact sînt puncte sensibile, cărora trebuie să li se dea o atenţie deosebită în cursul realizării montajului şi în cursul exploatării.

Un contact necorespunzător se încălzeşte din ce în ce mai mult, cauzează distrugerea pieselor izolante înconjurătoare, avînd ca urmare apariţia unor defecte grave, cum sînt scurtcircuitele, incendiile etc.

În consecinţă, trebuie avută în vedere corespondenţa puterii motoarelor şi curenţilor diferitelor receptoare cu secţiunile conductoarelor, cablurilor şi curenţilor nominali şi de utilizare ai aparatelor folosite.

B. CONSTRUCŢIA CONTACTELOR

1. MATERIALE PENTRU CONTACTE

Materialele pentru piesele de contact trebuie să asigure buna funcţionare a acestora atît la trecerea îndelungată a curentului electric, cît şi în cazul arcului electric care se formează la deschiderea contactelor care întrerup curentul electric.

Aceste materiale trebuie să fie *bune conductoare, să se oxideze cît mai puţin, să aibă temperatura de topire cît mai ridicată* (în special pentru contactele care întrerup curentul). Cele mai folosite materiale sînt:

Cuprul are conductibilitatea electrică şi termică foarte bune, rezistenţă bună la arc (dar nu la curenţi de scurtcircuit), cost relativ redus, dar se oxidează în aer, mai ales la temperaturi ridicate, formînd un strat rău conductor şi rezistent din punct de vedere mecanic.

De aceea, folosirea sa este limitată la conctactoarele de curent continuu, asigurîndu-se autocurăţirea prin construcţie, şi la aparatele cu contacte în ulei.

Argintul are cea mai mare conductibilitate electrică şi termică, cea mai mică rezistenţă de contact, oxidul care se formează la suprafaţă se îndepărtează uşor, dar în atmosferă de sulf formează un strat de sulfit rău conducător, rezistenţa sa mecanică şi la arcul electric este redusă şi deci nu poate fi utilizat pentru anumite contacte de rupere, este foarte scump şi, mai ales în ultimul timp, foarte deficitar.

Argintul se mai foloseşte în construcţia pieselor de contact aliat cu cuprul (3—20% Cu) sau în materiale sinterizate.

Metalele dure, ca *wolframul* şi *molibdenul,* se folosesc pentru piesele de contact ale întreruptoarelor de înaltă tensiune; ele intră, de asemenea, în componenţa unor materiale sinterizate.

Metalele preţioase ca aurul, platina, paladiul sînt folosite pentru piesele de contact ale releelor şi întreruptoarelor care lucrează la tensiuni reduse, la care straturi chiar foarte subţiri de oxid pot împiedica închiderea circuitului electric.

Materialele de contact sinterizate, în care pot fi asociate metale cu proprităţi foarte deosebite, de obicei unul moale de foarte bună conductibilitate electrică şi termică (de exemplu argintul), celălalt dur şi cu o temperatură de topire foarte înaltă (de exemplu wolframul) se apropie mult de condiţiile unui material ideal.

Sinterizarea este tratamentul termic al unui amestec de pulberi metalice la o temperatură inferioară punctului de topire a componentului principal. În funcţie de materialele folosite se utilizează diferite variante ale acestui procedeu.

Materialele cele mai folosite sînt:

— *cupru-wolfram cu 40—90%* W, pentru întreruptoarele de înaltă tensiune în ulei;

— *argint-wolfram* cu procent redus de wolfram, pentru contacte de relee, cu procent mediu şi înalt de wolfram, pentru contactele de rupere ale întreruptoarelor automate de joasă tensiune în aer;

— *aegint-nichel cu 10—40% nichel,* pentru piesele de contact ale contactoarelor mici, limitatoarelor, comutatoarelor, microîntreruptoarelor etc. Nu se recomandă pentru tensiuni joase, avînd rezistenţă de contact ridicată;

— *argint-oxid de cadmiu cu 6—13%* CdO, cel mai folosit material pentru piesele de contact ale contactoarelor.

2. FORME CONSTRUCTIVE

Există o foarte mare diversitate de forme constructive pentru piesele de contact. Principalele grupe sînt următoarele.

Contacte permanente sînt contacte care nu se desfac în timpul funcţionării, cum sînt de exemplu legăturile la borne. Forţa de apăsare este asigurată cu şuruburi sau, în unele cazuri, prin elasticitatea unor piese speciale (fig. 5.1).

Strîngerea şuruburilor care asigură fixarea conductoarelor de legătură la bornele aparatelor, motoarelor şi altor receptoare electrice trebuie să fie făcută foarte atent, pentru ca să se asigure un contact permanent corespunzător, o perioadă îndelungată de timp.

În acest scop şurubul bornei trebuie să aibă o dimensiune minimă, aşa cum se indică în tabelul 5.2.

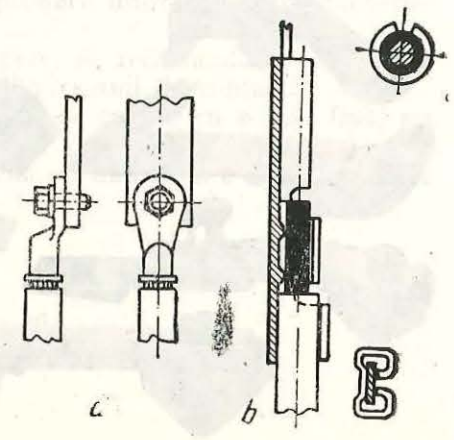


Fig. 5.1. Contacte permanente:
a — bornă cu papuc de cablu; *b* — bornă cu papuc prin strîngere şi elasticitate a materialului.

Tabelul 5.2.

Dimensiunile minime ale şuruburilor de borne

I_{ab}[A]	6	10	16	25	32	40	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000
diametrul şurubului	M3	M3,5	M4	M4	M5	M5	M5	M6	M8	M8	M10	M10	M10	M10	M10	M12	M16	M16	M16

Pentru valori de curent intermediare se va alege şurubul corespunzător curentului imediat superior.

În cazul folosirii conductoarelor şi barelor de legătură de aluminiu se va introduce o piesă elastică, prin care să se compenseze tasarea aluminiului sub şurubul bornei.

Toate şuruburile bornelor vor fi prevăzute cu dispozitive (şaibe) de siguranţă împotriva deşurubării întîmplătoare.

Contacte alunecătoare sînt contacte la care în piesele de contact nu se desfac, dar se deplasează una faţă de cealaltă, una dintre piese alunecînd peste cealaltă. Un exemplu de astfel de contacte îl reprezintă captatoarele de la troleibuze, care alunecă pe firul de alimentare în timp ce troleibuzul se deplasează. Un alt exemplu este reprezentat în figura 5.2.

Contacte amovibile sînt contacte care în funcţionare se închid şi se deschid, servind la stabilirea şi la întreruperea curentului electric. Forţa de apăsare este asigurată cu resoarte elicoidale sau lamelare (fig. 5.3).

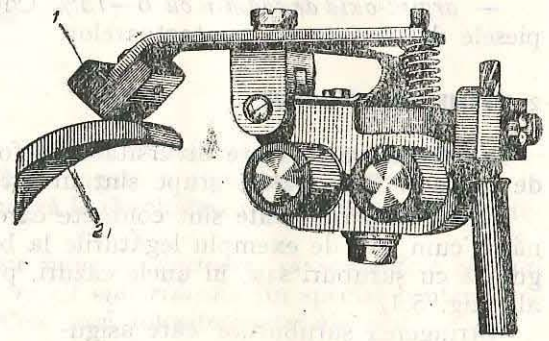


Fig. 5.2. Contacte glisante pentru controler:
1 deget de contact; *2* — segment al contactului mobil.

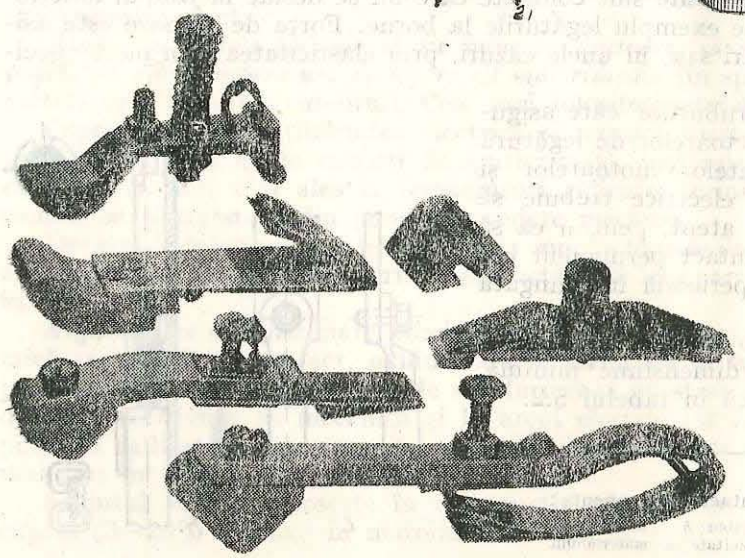


Fig. 5.3. Contacte deget pentru contactoare şi controlere.

Contactele amovibile sînt cele mai solicitate, datorită arcului electric care se formează repetat de fiecare dată cînd piesele de contact se depărtează.

Este foarte importantă asigurarea forţei de apăsare între piesele în contact şi de aceea trebuie verificată periodic starea resoartelor care dau această forţă.

Starea suprafeţei pieselor de contact trebuie, de asemenea, controlată permanent.

3. VIBRAŢIA CONTACTELOR

Acest fenomen apare la închiderea contactelor amovibile şi constă în atingerea şi desfacerea repetată la distnaţă mică de cîteva ori a pieselor de contact.

El se datoreşte energiei cinetice a contactului mobil şi elasticităţii pieselor de contact, iar în unele cazuri şi datorită unor forţe electrodinamice de respingere a pieselor de contact la curenţi relativi mari.

Vibraţia contactelor este dăunătoare, deoarece cauzează ruperea pieselor de contact şi uneori sudarea lor prin formarea de puncte de metal topit între piesele contactelor, care se deschid şi se închid în timpul vibraţiilor pînă cînd rămîn ferm în contact. Practica arată că durata totală a vibraţiilor pînă cînd se stabileşte contactul ferm trebuie să nu depăşească 4—6 ms.

Micşorarea vibraţiei contactelor se obţine prin:

— reducerea vitezei de impact (respectiv a retragerii) cu care piesa de contact mobilă vine spre piesa de contact fixă;

— reducerea masei pieselor de contact mobile şi a echipajului care le poartă, pentru a se micşora energia cinetică;

— reducerea lungimii punţilor sau braţelor de contact;

— folosirea unor amortizoare.

C. ÎNTREŢINEREA ŞI REPARAREA CONTACTELOR

Supravegherea şi îngrijirea periodică a contactelor electrice constituie o condiţie strict necesară pentru asigurarea unei funcţionări sigure a aparatelor, deoarece în timpul exploatării se produce întotdeauna o înrăutăţire treptată a stării contactelor.

În ce priveşte contactele de întrerupere, se recomandă curăţirea lor periodică de oxid şi verificarea menţinerii presiunii de contact.

Contactele de cupru oxidate sau perlate se curăţă cu o pilă fină, nu cu hîrtie sticlată.

Contactele de argint nu se curăţă cu pila, ci numai cu o cîrpă înmuiată în benzină.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. *Care sînt tipurile de contacte pe care le cunoaşteţi?*
2. *Ce materiale se folosesc pentru piesele de contact?*
3. *Ce este rezistenţa de contact?*
4. *Cum se întreţin contactele de cupru?*
5. *Dar cele de argint?*

CAPITOLUL 6

ELEMENTE COMPONENTE ALE MAŞINILOR ŞI TRANSFORMATOARELOR ELECTRICE

A. ROLUL ŞI CLASIFICAREA MAŞINILOR ELECTRICE

1. ROLUL MAŞINILOR ELECTRICE

Maşina electrică este un sistem tehnic care transformă energia mecanică în energie electrică sau invers, sau care modifică parametrii energiei electrice.

Maşinile electrice se caracterizează prin prezenţa unor piese în mişcare, în general de rotaţie, din care cauză se mai numesc *maşini electrice rotative.*

După modul de transformare se deosebesc:

— *generatoare electrice,* care transformă energia mecanică în energie electrică. De exemplu, în centralele electrice generatoarele transformă energia mecanică primită de la un motor primar (motor termic, turbină) în energie electrică, pe care o transmite unei reţele electrice;

— *motoare electrice,* care transformă energia electrică în energie mecanică. De exemplu, la o acţionare electrică, motorul transformă energia electrică primită de la reţea în energie mecanică prin care se acţionează o maşină de lucru (strung, macara etc.);

— *convertizoare electrice,* care, cu intervenţia energiei mecanice, modifică parametrii unei transmisii de energie electrică, de exemplu, tensiunea, curentul, frecvenţa, numărul de faze, felul curentului.

Transformarea de energie se face cu anumite pierderi, în principal în miezurile magnetice şi în înfăşurări, în care o parte din energia absorbită de maşină se transformă în energie termică, ce se răspîndeşte în mediul înconjurător. De aceea, energia transformată (utilă) este mai mică decît energia absorbită de maşina electrică. Raportul dintre energia utilă şi energia absorbită se numeşte *randament* şi este întotdeauna subunitar.

2. TIPURI DE MAŞINI ELECTRICE. FUNCŢIONARE

O maşină electrică are două părţi constructive de bază: *statorul,* care este fix şi *rotorul,* care este mobil (rotitor).

Rotorul este prevăzut cu un capăt de arbore care iese în afara maşinii, la care se face cuplarea mecanică (cu un cuplaj, o roată dinţată sau o roată de curea) cu motorul primar (în cazul generatoarelor) sau cu maşina de lucru (în cazul motoarelor).

Energia electrică este primită (la motoare) sau cedată reţelei (la generatoare) prin cutia de borne, la care sînt conectate cablurile ce fac legătura cu reţeaua şi înfăşurările din interiorul maşinii.

Maşinile electrice funcţionează pe baza fenomenului de inducţie electromagnetică. Inductorul maşinii (la cele mai multe tipuri de maşini, acesta este statorul) produce un cîmp magnetic care induce în conductoarele înfăşurării indusului (rotorului) o tensiune electromotoare.

Pentru definirea funcţionării ca generator sau ca motor a unei maşini electrice, să considerăm un conductor al înfăşurării indusului, aflat în cîmpul magnetic al inductorului.

Dacă conductorul este deplasat în cîmpul magnetic, prin deplasarea relativă dintre inductor şi indus, în conductor se induce o tensiune electromotoare care produce în acelaşi sens un curent electric debitat în reţea, maşina funcţionînd ca generator. Asupra conductorului se exercită o forţă electromagnetică ce se opune mişcării rotorului de către motorul primar.

Dacă conductorul aflat în repaus este parcurs de un curent electric produs de tensiunea reţelei, asupra conductorului se va exercita o forţă electromagnetică ce deplasează conductorul producînd un cuplu motor, maşina funcţionînd ca motor. În conductor se induce o tensiune electromotoare, însă de sens opus curentului şi tensiunii aplicată din exterior.

3. CLASIFICAREA MAŞINILOR ELECTRICE

După **natura curentului,** maşinile electrice se clasifică în *maşini de curent continuu* şi *maşini de curent alternativ.*

Maşinile de curent continuu se utilizează atît ca motoare, cît şi ca generatoare.

Maşinile de curent alternativ se împart în:

— *maşini sincrone,* la care turaţia este constantă, independentă de sarcină şi care se utilizează ca generatoare sau motoare;

— *maşini asincrone,* la care turaţia variază între anumite limite cu sarcina. Ele se utilizează de obicei ca motoare şi pot fi *cu rotorul bobinat,* numite şi maşini cu inele sau *rotorul în scurtcircuit* (cu rotor în colivie);

— maşini de curent alternativ *cu colector.*

În funcţie de **numărul de faze** ale reţelei la care sînt racordate, maşinile de curent alternativ pot fi *monofazate* sau *trifazate.*

După **destinaţie,** maşinile electrice se clasifică în:

— *maşini de uz general,* cu caracteristici de funcţionare normalizate şi o construcţie care le permite utilizarea în condiţii obişnuite de serviciu;

— *maşini cu utilizare determinată,* cu caracteristici de funcţionare normalizate, însă cu o construcţie care le permite o anumită utilizare, de exemplu motoare de macara, motoare antiexplozive (pentru industria chimică unde pot funcţiona în medii explozive), motoare amtigrizutoase (pentru minele de cărbuni), motoare pentru maşini-unelte, motoare pentru laminoare etc.;

— *maşini cu utilizare specială,* care au caracteristici de funcţionare speciale şi o construcţie specială, destinate unei anumite utilizări, de exemplu, maşinile pentru tracţiune feroviară, urbană şi minieră.

Maşinile electrice pot funcţiona cu axa arborelui în poziţie orizontală sau în poziţie verticală, iar prinderea maşinii se poate face pe tălpile carcasei sau prin flanşarea scutului tracţiune la maşina de lucru.

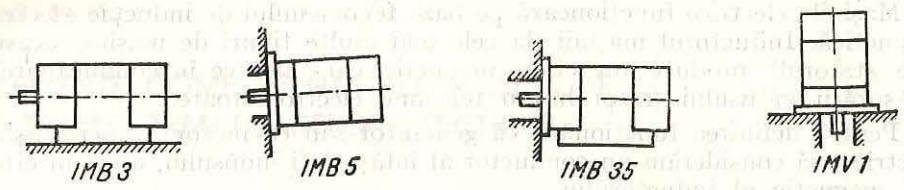


Fig. 6.1. Tipurile constructive cele mai utilizate de mașini electrice.

Cele mai utilizate tipuri constructive sînt (fig. 6.1):
— mașini orizontale cu prindere pe tălpi (simbol IMB 3);
— mașini orizontale cu prindere pe flanșe (simbol IMB 5);
— mașini orizontale cu prindere pe tălpi și pe flanșe (simbol IMB 35);
— mașini verticale cu prindere pe flanșe și cu capătul de arbore în jos (simbol IMV 1);

4. RĂCIREA MAȘINILOR ELECTRICE

Datorită pierderilor de energie în înfășurări și miezuri magnetice, acestea se încălzesc. Pentru a se limita ridicarea temperaturii, la valori care să permită buna lor funcționare, mașinile se răcesc cu ajutorul unui fluid de răcire, care preia căldura. În afara unor cazuri speciale (răcire cu hidrogen, azot, apă etc.), la majoritatea tipurilor de mașini electrice fluidul de răcire este aerul.

În funcție de modul de evacuare a căldurii și a modului de circulație a fluidului de răcire există foarte multe tipuri de mașini electrice, din care cele mai utilizate sînt:

— *mașini cu răcire prin suprafață*, numite și *mașini închise*. Aerul din interiorul mașinii preia căldura și o cedează carcasei, care la rîndul ei o cedează prin suprafața sa exterioară aerului înconjurător, după schema din figura 6.2, *a*.

De cele mai multe ori, pentru intensificarea schimbului de căldură, carcasa este prevăzută cu nervuri la exterior, iar pe arborele mașinii este fixat un ventilator în interiorul carcasei și unul în exterior (fig. 6.2, *b*);

— *mașini cu răcire prin autocirculație liberă a aerului*, numite și *mașini autoventilate*. Mașina este prevăzută cu un ventilator montat pe arbore, iar aerul din mediul înconjurător pătrunde liber în mașină prin ferestrele

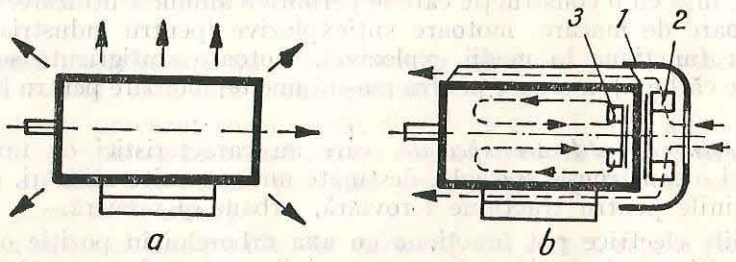


Fig. 6.2. Schema răcirii prin suprafață:
— capotă; 2 — ventilator exterior; 3 — ventilator interior.

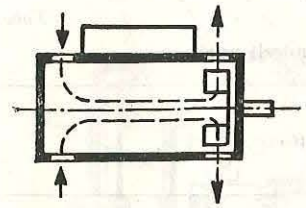


Fig. 6.3. Schema răcirii prin autocirculație liberă a aerului.

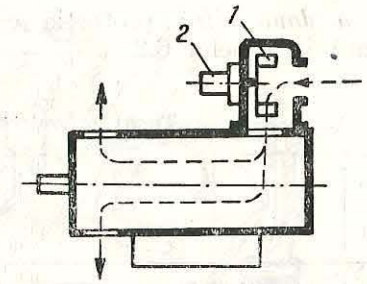


Fig. 6.4. Schema răcirii cu circulație liberă a aerului refulat de un motoventilator:
1 — ventilator; *2* — motor electric al ventilatorului.

de ventilație și este refulat de ventilator în mediul înconjurător, după schema din figura 6.3;

— *mașini cu răcire prin circulație liberă a aerului, refulat sau absorbit de un motoventilator* montat pe mașina electrică, după schema din figura 6.4, numite și *mașini cu ventilație independentă*. Motoventilatorul este format dintr-un ventilator acționat de un motor electric propriu, alimentat independent de mașina electrică principală.

5. PROTECȚIA MAȘINILOR ELECTRICE

Mașinile electrice, ca de altfel toate utilajele electrice (transformatoare, aparate electrice de joasă tensiune și alte elemente de instalații electrice) sînt astfel construite, încît învelișul exterior să asigure un anumit grad de protecție, simbolizat prin literele IP și două cifre, indicînd:

— *prima cifră:* protecția contra atingerii accidentale de către personalul de serviciu a părților interioare sub tensiune sau în mișcare și contra pătrunderii corpurilor străine solide, cu semnificația indicată în tabelul 6.1;

Tabelul 6.1

Tipuri de protecție contra atingerii interioare aflate sub tensiune sau în mișcare și protecția contra pătrunderii corpurilor străine solide

Prima cifră din simbol	Semnificația protecției		
	Protejat contra atingerii părților interioare:	Protejat contra pătrunderii corpurilor străine	
0	fără protecție	fără protecție	
1	cu o suprafață mare a corpului, de exemplu mîna	cu grosimi mai mari de:	50 mm
2	cu degetele		12 mm
3	cu scule cu grosime peste 2,5 mm		2,5 mm
4	cu scule și sîrme, cu grosime peste 1 mm		1 mm
5	total împiedicat	protejat parțial contra prafului	
6	total împiedicat	pădurea prafului este complet împiedicată	

— *a doua cifră:* protecţia contra pătrunderii apei, cu semnificaţia indicată în tabelul 6.2.

Tabelul 6.2

Tipuri de protecţie contra pătrunderii apei

A doua cifră din simbol	Semnificaţia protecţiei:
0	fără protecţie
1	contra picăturilor de apă de condensaţie
2	contra picăturilor de apă ce cad sub un unghi de max. 15° faţă de verticală
3	contra apei sub formă de ploaie, picăturile căzînd sub un unghi de 60° faţă de verticală
4	contra stropirii cu apă sub formă de picături proiectate din orice direcţie
5	contra jeturilor de apă sub presiune, proiectate cu un furtun
6	contra valurilor care izbesc utilajul pe puntea navelor
7	contra pătrunderii apei în cantitate dăunătoare în utilajul imersat în apă un timp limitat
8	contra pătrunderii apei în cantitate dăunătoare în utilajul imersat în apă un timp nelimitat (utilaj submersibil)

Cele mai utilizate tipuri de protecţie la maşini electrice rotative sînt: IP 00, IP 23, IP 44, IP 54.

6. PĂRŢILE COMPONENTE PRINCIPALE ALE MAŞINILOR ELECTRICE

După cum s-a arătat în paragraful 2, o maşină electrică are două părţi constructive de bază: *statorul* şi *rotorul.*

Statorul este format din:
— *partea fixă a circuitului magnetic* (miezul stator);
— *înfăşurarea* sau înfăşurările *statorului;*
— *carcasa* din fontă, oţel sau aliaj de aluminiu, care susţine şi închide miezul statorului şi care poate fi prevăzută cu tălpi pentru fixarea maşinii.

Rotorul este format din:
— *partea mobilă a circuitului magnetic* (miezul rotor);
— *înfăşurarea rotorului;*
— *arborele,* din oţel, pe care este montat miezul rotorului. Extremitatea arborelui, care transmite energia mecanică se numeşte *capăt de arbore.*
La unele tipuri de maşini electrice pe rotor se mai găsesc:
— *colectorul* (numai la maşini de curent continuu şi la maşini de curent alternativ cu colector), format din lamele de cupru de secţiune trapezoidală, izolate între ele cu lamele de micanită, la care este legată înfăşurarea rotorului;

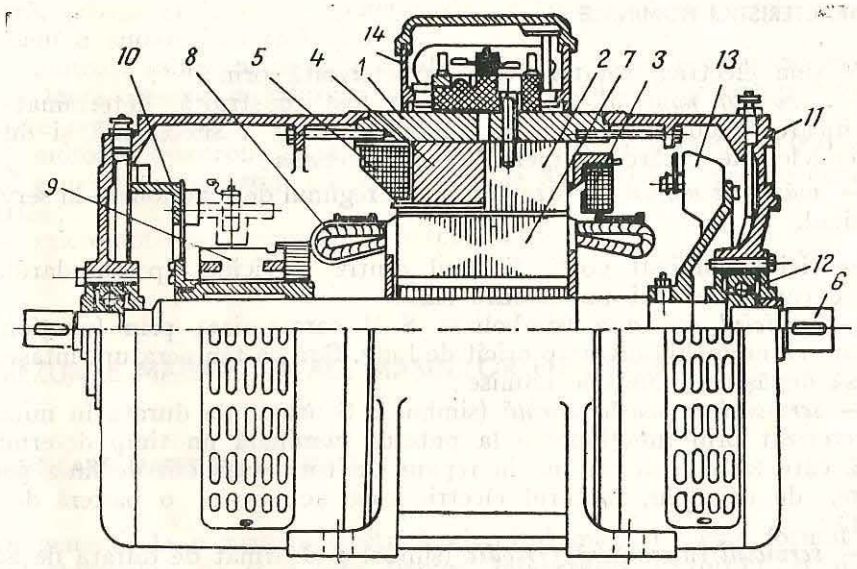


Fig. 6.5. Părţile componente principale ale maşinii de curent continuu:
1 — carcasă; *2* — pol principal; *3* — bobină de excitaţie; *4* — pol de comutaţie; *5* — bobină de comutaţie; *6* — arbore; *7* — miez magnetic rotoric; *8* — înfăşurarea rotorului; *9* — colector; *10* — cruce portperii; *11* — scut; *12* — rulment; *13* — ventilator; *14* — cutie de borne.

— *inelele colectoare* (numai la maşini asincrone cu inele şi la maşini sincrone), formate din inele de cupru, alamă, bronz sau oţel, izolate între ele, la care sînt legate capetele înfăşurării rotorului;
— *ventilatorul.*
Între miezul statorului şi miezul rotorului există un spaţiu de aer numit *întrefier.*
În afară de aceste două părţi de bază, maşinile electrice mai au următoarele *piese şi subansambluri:*
— *lagărele* care susţin arborele. Ele pot fi lagăre *cu alunecare* (cu cuzineţi) sau *cu rostogolire* (cu rulmenţi);
— *scuturile* care se fixează de carcasă şi în care se montează lagărele. Scutul dinspre capătul de arbore este numit *scut tracţiune,* iar cel opus, *scut suport;*
— *colierul portperiilor* (cruce portperii), pe care sînt fixate portperiile şi periile care asigură legătura electrică la colectoare şi inele colectoare;
— *cutia de borne,* montată de regulă pe carcasă şi care are în interiorul ei placa de borne la care se fac legăturile la reţeaua electrică.
În figura 6.5 sînt reprezentate principalele părţi componente ale unei maşini de curent continuu, iar în figura 6.6 cele ale unui motor asincron.

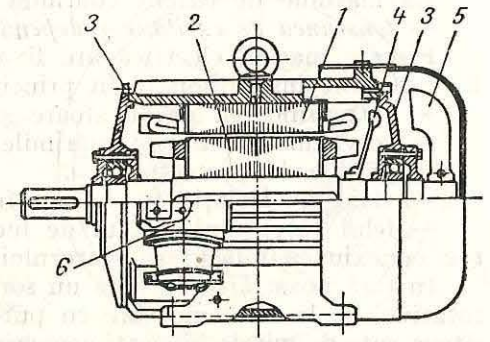


Fig. 6.6. Părţile componente principale ale motorului asincron în scurtcircuit:
1 — stator; *2* — rotor; *3* — scuturi; *4* — ventilator interior; *5* — ventilator exterior; *6* — cutie de borne

7. CARACTERISTICI NOMINALE

Maşina electrică rotativă este caracterizată prin:

— *serviciul nominal,* pentru care a fost construită, determinat prin specificarea regimurilor de funcţionare, inclusiv a succesiunii şi duratei perioadelor de încărcare, mers în gol şi repaus;

— *mărimile nominale,* care determină regimul de funcţionare în serviciul nominal.

Serviciul nominal poate fi unul dintre serviciile tip standardizate, dintre care cele mai importante sînt:

— *serviciul continuu* (simbolizat S 1) caracterizat prin funcţionarea la puterea nominală un timp oricît de lung, fără ca temperatura înfăşurărilor să depăşească limitele admise;

— *serviciul de scurtă durată* (simbol 2 S urmat de durata în minute), caracterizat prin funcţionarea la puterea nominală un timp determinat, după care trebuie să rămînă în repaus un timp suficient de lung pentru răcire, de exemplu, motorul electric care acţionează o barieră de cale ferată;

— *serviciul intermitent periodic* (simbol S 3 urmat de durata de acţionare relativă în procente) caracterizat prin cicluri de funcţionare identice, compuse fiecare dintr-o perioadă de funcţionare la puterea nominală şi o perioadă de repaus, de exemplu, motorul electric al compresorului de aer la un vagon de tramvai.

Mărimile nominale principale care determină regimul de funcţionare în serviciul nominal sînt:

— *puterea utilă nominală,* măsurată în kilowaţi [kW], (numai la generatoare sincrone se indică puterea aparentă măsurată în kilovolt amperi [kVA];

— *tensiunea nominală,* măsurată în volţi [V];

— *curentul nominal* măsurat în amperi [A];

— *turaţia nominală,* măsurată în rotaţii pe minut [rot/min];

— *randamentul nominal.*

La maşinile de curent alternativ se mai adaugă:

— *frecvenţa tensiunii* la bornele principale, în herţi [Hz];

— *factorul de putere nominal* (cos φ).

La maşinile de curent continuu şi sincrone mai sînt:

— *tensiunea de excitaţie independentă* [V] *şi curentul de excitaţie* [A].

Fiecare maşină electrică are fixată pe carcasă o plăcuţă indicatoare în care sînt inscripţionate în principal:

— întreprinderea producătoare şi tipul maşinii;

— serviciul nominal şi mărimile nominale;

— gradul de protecţie;

— clasa de izolaţie (v. paragraful C 1);

— felul curentului, modul de lucru, modul de conectare a excitaţiei sau conexiunea înfăşurării statorului (v. paragraful D 3).

În ţara noastră se execută un sortiment foarte larg de maşini electrice rotative, de la micromotoare cu puteri sub 0,25 kW, pînă la maşini de cîteva sute de mii de kilowaţi acoperind necesităţile în cele mai diferite domenii industriale, cum sînt:

— motoare de curent continuu de uz general, pentru maşini-unelte, pentru acţionări de utilaje tehnologice şi în metalurgie, pentru tracţiunea minieră, urbană şi feroviară, generatoare de curent continuu de uz general, pentru sudare electrică etc.;

— motoare asincrone de uz general, pentru macarale, pentru ascensoare, pentru nave, pentru metalurgie, motoare antiexplozive şi antigrizutoase, motoare pentru pompe submersibile;

— motoare asincrone şi sincrone mari cu puteri pînă la 10 000 kW;

— generatoare sincrone cu puteri pînă la 330 000 kW, pentru centrale electrice;

— micromotoare cu puteri sub 0,25 kW.

B. MIEZURILE MAGNETICE ALE MAŞINILOR ELECTRICE

1. CLASIFICARE, MATERIALE UTILIZATE

În general, la o maşină electrică circuitul magnetic este format din miezul statorului, pe care este dispusă înfăşurarea statorului şi miezul rotorului, pe care este dispusă înfăşurarea rotorului.

După felul fluxului magnetic care se închide prin miezuri, acestea se clasifică în:

— *miezuri magnetice pentru flux constant în timp;*

— *miezuri magnetice pentru flux variabil în timp.*

Pentru execuţia miezurilor magnetice se folosesc materiale feromagnetice, în special aliaje ale fierului, care au proprietăţi de magnetizare foarte bune.

Miezurile magnetice pentru flux constant se execută din oţel masiv, mai rar fontă (numite *miezuri masive*) sau din tablă de oţel groasă de 1—2 mm (numite *miezuri lamelate*).

Miezurile magnetice pentru flux variabil în timp, pentru a avea pierderi de energie reduse, se execută numai lamelate din tablă de oţel aliat cu 0,7—2,7% siliciu, numită *tablă de oţel electrotehnic,* izolată pe ambele feţe, cu grosimea de 0,5 mm, mai rar 0,65 mm.

Tabla de oţel electrotehnic poate fi:

— *laminată la cald,* livrată în foi şi neizolată, izolarea urmînd să se facă cu lac electroizolant după ştanţare;

— *laminată la rece,* livrată în rulouri şi izolată pe ambele feţe cu un lac rezistent la temperatură.

2. TIPURI DE CIRCUITE MAGNETICE

Forma şi construcţia circuitelor magnetice depinde de tipul maşinii electrice.

Maşini de curent continuu. Circuitul magnetic al unei maşini de curent continuu de uz general este format din (fig. 6.7):

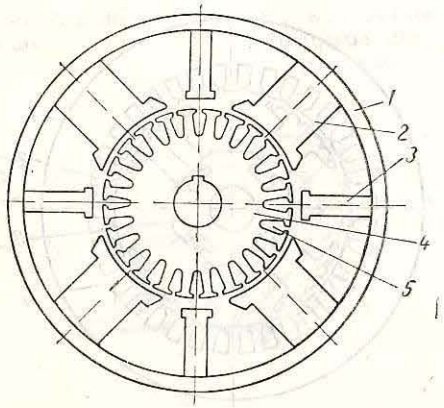


Fig. 6.7. Circuitul magnetic al maşinii de curent continuu.

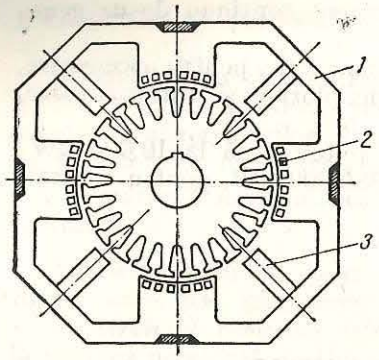


Fig. 6.8. Circuitul magnetic al mașinii de curent continuu pentru alimentare cu curent redresat.

— carcasă cilindrică executată din oțel masiv *1*;

— poli principali (de excitație) *2*, executați în general lamelați;

— poli auxiliari (de comutație) *3*, executați din oțel masiv sau lamelat;

— miezul rotorului *4*, cu crestături la exterior *5*, executat lamelat.

La mașinile de curent continuu destinate a fi alimentate cu curent redresat, miezul statorului *1* (fig. 6.8) se execută complet lamelat, polii avînd spre interior crestăturile *2* pentru înfășurarea de compensație, iar polii de comutație *3* se execută numai lamelat.

Mașini sincrone. Miezul magnetic statoric *1* este cilindric, cu crestăturile *2* la interior și executat lamelat (fig. 6.9).

Miezul rotoric poate fi cu poli aparenți, ca cel din figura 6.9, format dintr-un butuc *3* pe care sînt prinși polii *4*, sau cilindric cu crestături la exterior, numit cu poli înecați (fig. 6.10).

În afară de acestea, mașinile sincrone mici se pot executa în „construcție inversă", cu poli pe stator la fel ca la mașina de curent continuu, dar fără poli de comutație, și cu rotorul cilindric cu crestături la exterior.

Mașini asincrone. Miezul magnetic statoric este identic cu cel de la mașinile sincrone, cilindric, cu crestături la interior și executate lamelat, iar miezul rotoric este cilindric, cu crestături la exterior și executat lamelat (fig. 6.11).

Motoarele asincrone, monofazate de putere mică se execută cu poli aparenți ca în figura 6.12.

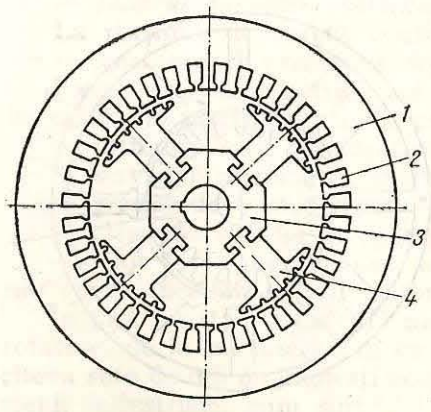


Fig. 6.9. Circuitul magnetic al mașinii sincrone cu poli aparenți.

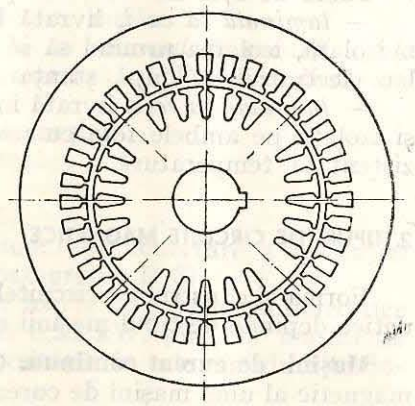


Fig. 6.10. Circuitul magnetic al mașinii sincrone cu poli înecați.

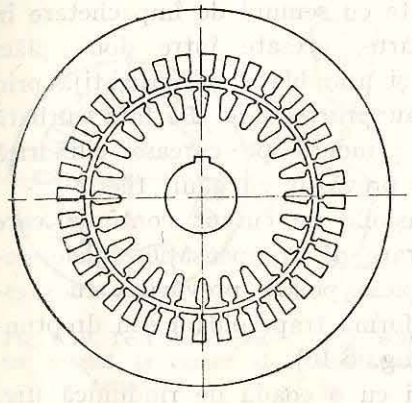


Fig. 6.11. Circuitul magnetic al mașinii asincrone.

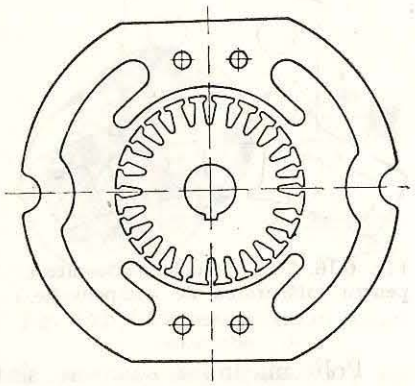


Fig. 6.12. Circuit magnetic pentru mașini asincrone monofazate mici.

3. POLII MAȘINILOR ELECTRICE

Polii principali și cei de comutație la mașina de curent continuu și polii rotorului la mașina sincronă, fiind pentru flux constant în timp, pot fi executați din oțel masiv, turnat, forjat sau laminat.

Datorită formei lor complicate, polii principali la mașina de curent continuu și polii mașinii sincrone se execută lamelați, din tole ștanțate din tablă de oțel cu grosimea de 1—2 mm.

Numai polii principali de dimensiuni mici (fig. 6.13) și polii de comutație (fig. 6.14), care au o formă mai simplă, se execută masivi.

La un pol se deosebesc următoarele părți (fig. 6.15, *b*):

— *miezul polului* (*2*) — porțiunea de pol în jurul căreia se așază bobina de excitație;

— *piesa polară* (*4*) — porțiunea din sol situată spre întrefier;

— *coarnele polare* (*3*) — extremitățile piesei polare.

La ștanțarea tolei, pe lîngă conturul exterior, se execută și găutile pentru asamblare și un semn de împachetare lateral (*1*) — (fig. 6.15, *a*). Tolele sînt

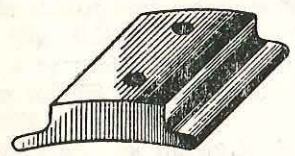


Fig. 6.13. Pol principal din oțel masiv.

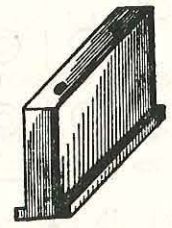


Fig. 6.14. Pol de comutație din oțel masiv.

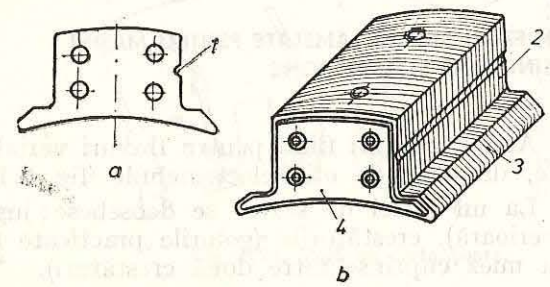


Fig. 6.15. Pol principal lamelat: *a* — tola de pol; *b* — polul asamblat.

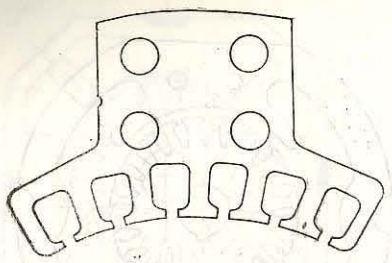


Fig. 6.16. Tolă de pol cu crestături pentru înfășurarea de compensație.

împachetate cu semnul de împachetare în aceeași parte, presate între două plăci de capăt și asamblate cu nituri-tijă prin evazare sau prin sudare. Pe fața curbată destinată prinderii pe carcasa cilindrică polul este prevăzut cu găuri filetate.

La mașinile de curent continuu care au înfășurare de compensație, tolele polului au piesa polară prevăzută cu crestături de formă trapezoidală sau dreptunghiulară (fig. 6.16).

Polii mașinilor sincrone sînt prevăzuți cu o coadă de rîndunică (fig. 6.17, *a*) sau o coadă în T (fig. 6.17, *b*), pentru fixare pe butucul rotorului. Piesa polară este prevăzută cu crestături rotunde, pentru bobinajul de amortizare.

La mașinile de curent continuu, destinate a fi alimentate cu curent redresat, polii de comutație sînt lamelați ca cel din figura 6.18. Tolele sînt dispuse longitudinal, iar niturile de strîngere transversal. În părțile laterale, plăcile de capăt sînt îndoite în partea spre întrefier, pentru a servi ca suport bobinei ce se montează pe pol.

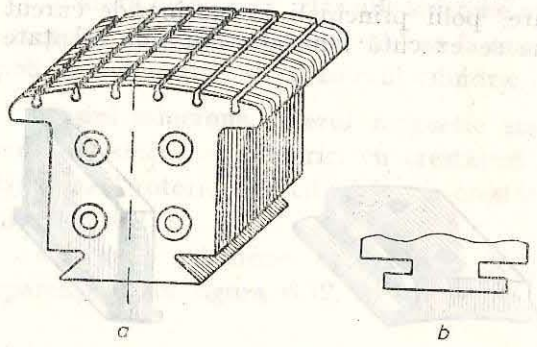


Fig. 6.17. Pol pentru rotorul mașinii sincrone:
a — pol asamblat avînd coadă de rîndunică; *b* — forma cozii în T.

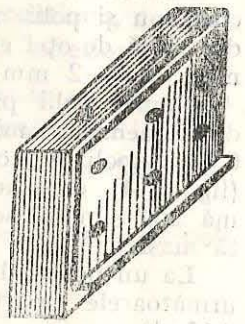


Fig. 6.18. Pol de comutație lamelat.

4. MIEZURI STATOR LAMELATE PENTRU MAȘINI SINCRONE ȘI ASINCRONE

Aceste miezuri fiind pentru fluxuri variabile în timp se execută lamelate, din tole de oțel electrotehnic (fig. 6.19).

La un astfel de stator se deosebesc: jugul statorului (partea inelară exterioară), crestăturile (golurile practicate la interior) și dinții (părțile din miez cuprinse între două crestături).

Crestăturile pot avea formele din figura 6.20 și pot fi semiînchise (*a*, *b*), semideschise (*c*) sau deschise (*d*).

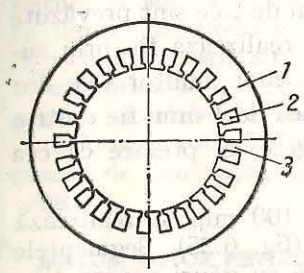


Fig. 6.19. Tolă stator pentru mașini de curent alternativ:
1 — jug; *2* — crestătură; *3* — dinte.

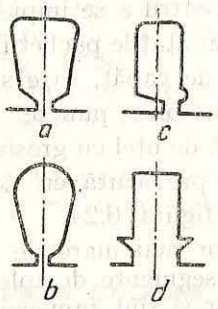


Fig. 6.20. Forma crestăturilor stator.

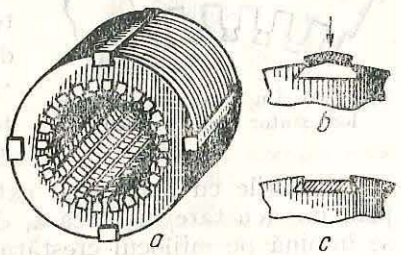


Fig. 6.21. Strîngerea miezului statoric cu scoabe:
a — pachet stator strîns cu scoabe; *b* — coadă de rîndunică din tolă și scoabă nepresată; *c* — scoaba presată în coada de rîndunică.

Fig. 6.22. Asamblare prin sudare:
a — canal prevăzut la exteriorul tolei; *b* — canal după sudare.

La mașinile mici, miezurile stator sînt împachetate înainte de presare în carcasă și pot fi strînse cu scoabe (fig. 6.21, *a*) introduse în cozi de rîndunică prevăzute la exteriorul pachetului (fig. 6.21, *b* și *c*) și îndoite peste părțile frontale, sau pot fi asamblate prin sudare pe patru generatoare exterioare (fig. 6.22).

La motoare foarte mici, strîngerea se realizează cu tije nit introduse în găurile prevăzute în tole, ca în figura 6.12.

La mașinile mari, miezurile stator sînt împachetate în carcasă și strînse între două inele de presare (fig. 6.23).

La mașinile lungi, pentru a se micșora pierderile, pachetul de tole este divizat, prin introducerea din loc în loc la împachetare, a unor tole executate din material electroizolant.

Pentru intensificarea ventilației, la mașinile lungi se prevăd din loc în loc canale de ventilație, realizate cu tole prevăzute cu distanțoare sudate sau nituite (fig. 6.24) pentru fiecare dinte.

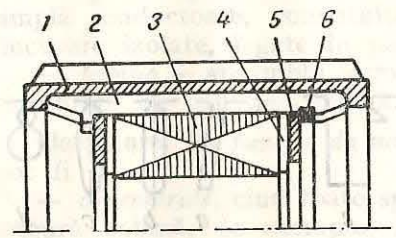


Fig. 6.23. Miez stator împachetat în carcasă:
1 — carcasă; *2* — nervurile carcasei; *3* — tolă stator; *4* — tolă de capăt; *5* — inel de presare; *6* — piesă de fixare.

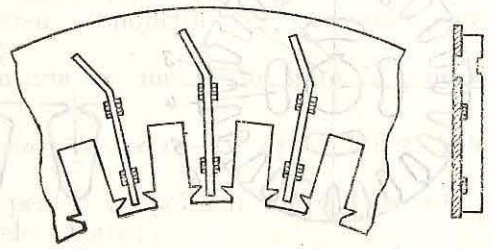


Fig. 6.24. Tolă cu distanțoare.

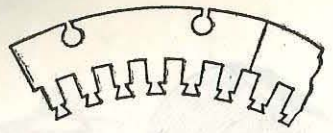


Fig. 6.25. Împachetarea miezurilor stator din segmente.

Pentru a se împiedica evazarea tolelor, la extremităţile pachetului de tole sînt prevăzute tole de capăt, care se realizează fie prin sudarea prin puncte a mai multor tole din tablă de oţel cu grosimea de 1 mm, fie dintr-o tolă prevăzută cu degete de presare ca cea din figura 6.24.

Miezurile cu diamantul exterior mai mare de 1 100 mm se realizează prin împachetare în carcasă, din segmente de tole (fig. 6.25). Segmentele se îmbină pe mijlocul crestăturilor şi sînt prevăzute cu găuri pentru tije, nit sau cozi de rîndunică, pentru asamblare şi strîngere.

5. MIEZURI STATOR LAMELATE PENTRU MAŞINI DE CURENT CONTINUU

La maşinile de curent continuu destinate a fi alimentate cu curent redresat, carcasa din oţel este înlocuită cu un jug lamelat, de formă inelară sau format din sectoare, de care sînt prinşi polii. La maşini mai mari, miezul statorului lamelat se realizează ca în figura 6.8 din tole care conţin atît jugul stator, cît şi miezul polilor principali. Strîngerea miezului se realizează cu flanşe de oţel, cu ajutorul unor tije filetate şi sudarea unor traverse pe exteriorul statorului.

6. MIEZURI ROTOR LAMELATE PENTRU MAŞINI DE CURENT CONTINUU ŞI ASINCRONE

Aceste miezuri se execută din tole din tablă de oţel electrotehnic, la care se deosebesc: centrul tolei pentru presare pe arbore sau butuc, prevăzut cu canal de pană, jugul rotorului, găuri de ventilaţie (numai la maşinile mai mari), crestăturile şi dinţii din partea exterioară (fig. 6.26).

La maşinile de curent continuu şi maşinile asincrone cu rotorul bobinat, crestăturile pot avea formele din figura 6.27, iar la maşina asincronă cu rotorul în scurtcircuit, ca în figura 6.28.

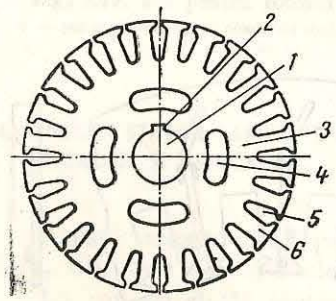


Fig. 6.26. Tolă rotor:
1 — centru; *2* — canal de pană; *3* — jug rotor; *4* — canal de ventilaţie; *5* — crestătură; *6* — dinte.

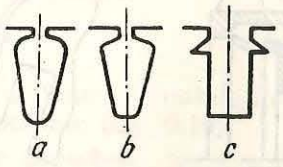


Fig. 6.27. Forma crestăturilor rotorului la maşini de curent continuu şi maşini asincrone cu rotorul bobinat.

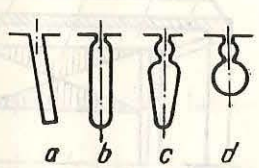


Fig. 6.28. Forma crestăturilor rotorului la maşini asincrone în scurtcircuit.

Miezurile se împachetează pe arbori sau butuci şi sînt strînse între tole de capăt şi flanşe de presare (fig. 6.29). Uneori flanşele de presare sînt prelungite cu o parte cilindrică la exterior, servind ca suport pentru capetele de bobină.

Miezurile rotor lungi pot fi prevăzute cu canale de ventilaţie, ca şi miezurile stator ungi.

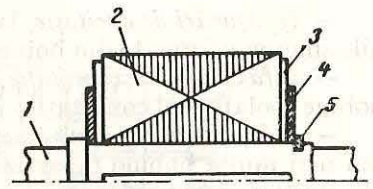


Fig. 6.29. Strîngerea miezului rotorului:
1 — arbore; *2* — tolă rotor; *3* — tolă de capăt; *4* — flanşă de presare; *5* — piesă de fixare.

7. MIEZURI ROTOR PENTRU MAŞINI SINCRONE

La maşinile sincrone cu poli aparenţi, rotorul este prevăzut cu un butuc, cu rolul de jug magnetic rotor, executat masiv sau lamelat, şi prevăzut la exterior cu cozi de rîndunică sau cozi în T pentru fixarea polilor (v. fig. 6.9).

La maşinile mici, rotorul se execută din tole conţinînd atît jugul rotor, cît şi miezurile polilor (stea polară), urmînd să se strîngă la exterior piesele polare (fig. 6.30).

La maşinile sincrone cu poli înecaţi, miezul rotorului se execută lamelat, ca la paragraful B2, cu crestături la exterior ca în figura 6.10.

La maşinile mari şi de turaţie mare, miezul rotorului cu poli înecaţi se execută din oţel masiv, avînd crestături frezate.

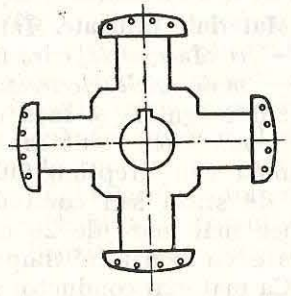


Fig. 6.30. Rotor de maşină sincronă cu piese polare aplicate peste steaua polară.

C. ÎNFĂŞURAREA MAŞINILOR ELECTRICE

1. CLASIFICARE, MATERIALE UTILIZATE

Înfăşurarea este un ansamblu de bobine care formează un circuit sau o parte dintr-un circuit electric într-o maşină electrică. Elementele constructive generale ale unei înfăşurări sînt:

— *spira* — partea elementară a înfăşurării, care formează o buclă simplă conductoare, constituită dintr-un conductor sau mai multe conductoare izolate, legate în paralel;

— *bobina* — ansamblu format din una sau mai multe spire, în general înfăşurate cu izolaţie comună.

Clasificare. *În funcţie de miezul magnetic pe care se aşază,* înfăşurările pot fi:

— *concentrate,* cînd toate spirele pentru un pol sînt concentrate într-o singură bobină, de exemplu, bobinele polare;

— *repartizate,* cînd bobinele înfăşurării sînt repartizate în mai multe crestături ale miezului.

În funcţie de rolul înfăşurării şi tipul maşinii electrice pe care sînt utilizate, principalele tipuri de înfăşurări sînt:

— *înfășurări de excitație*, la mașinile electrice de curent continuu și mașinile sincrone, formate din bobine polare de excitație care se montează pe poli;
— *înfășurări de comutație*, la mașini de curent continuu, formate din bobine polare de comutație, montate pe polii de comutație;
— *înfășurări de compensație*, la mașini de curent continuu, formate din mai multe bobine repartizate în crestăturile prevăzute în piesele polare ale polilor principali;
— *înfășurări de indus*, la mașini de curent continuu, formate din bobine repartizate în crestăturile miezului rotoric;
— *înfășurări statorice*, la mașini sincrone și asincrone, formate din bobine repartizate în crestărurile miezului statoric;
— *înfășurări rotorice*, la motoarele asincrone cu rotorul bobinat, formate din bobine repartizate în crestăturile miezului rotoric;
— *înfășurări în colivie*, la rotoarele motoarelor asincrone în scurtcircuit;
— *înfășurări de amortizare*, la mașini sincrone.

Materiale utilizate. Înfășurările se execută din două grupe de materiale:
— *conductoarele*, care formează calea sau căile de curent ale înfășurării;
— *materialele electroizolante*, care izolează electric înfășurarea față de miezul magnetic și față de alte înfășurări din mașina electrică.

Conductoarele sînt din cupru obținut pe cale electrolitică, de secțiune rotundă sau dreptunghiulară, izolate cu pelicule de email, straturi din fire de sticlă sau combinație email-fire de sticlă. Conductoarele cu secțiunea mai mare de 20 mm², numite și *bare*, sînt neizolate, urmînd a fi izolate cu benzi în timpul execuției bobinelor.

Ca material conductor se mai folosește aluminiul și alama la înfășurările în colivie.

Materialele electroizolante sînt sub formă de filme, folii, țesături, benzi, tuburi și stratificate, pe bază de fire de sticlă, solzi de mică, hîrtie de mică măcinată, asbest, rășină poliesterică etc.

În funcție de temperatura de lucru maximă admisă, materialele electroizolante se clasifică în clase de izolație care sînt în ordinea crescătoare a acestei temperaturi: Y, A, E, B, F, H, C.

2. BOBINE POLARE (PENTRU ÎNFĂȘURĂRI CONCENTRATE)

Forma și construcția bobinelor arătată la cap. 4 corespunde în general și bobinelor polare pentru mașini electrice rotative. Caracteristic însă bobinelor polare, în special celor de excitație, este de multe ori forma secțiunii lor în trepte (fig. 6.31).

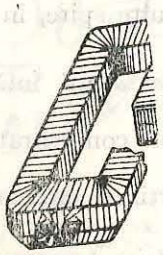


Fig. 6.31. Bobină de excitație.

În funcție de conductorul utilizat și de procedeul tehnologic de fabricație, variantele constructive principale ale bobinelor polare sînt:
— bobine din conductor rotund sau dreptunghiular izolat, depănat în straturi;
— bobine din galeți din conductor dreptunghiular îndoit pe lat;
— bobine din conductor dreptunghiular îndoit pe muchie.

Bobinele polare cu conductorul izolat depănat în straturi pot fi executate direct pe o carcasă

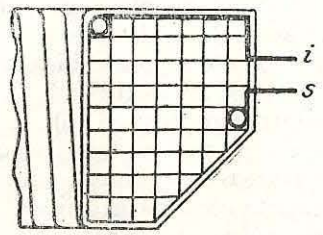


Fig. 6.32. Secțiuni prin bobină polară înfășurată în straturi:
i — început; *s* — sfîrșit.

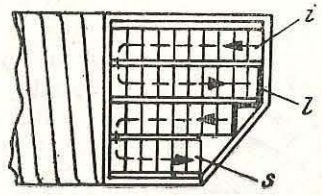


Fig. 6.33. Secțiune prin bobină polară în galeți:
i — început; *s* — sfîrșit; *l* — lipitură.

izolantă sau pe șabloane, forma în trepte obținîndu-se prin reducerea treptată a numărului de spire pe strat (fig. 6.32).

Bobinele în galeți se realizează din mai mulți galeți dubli, numiți *galeți jumelați*, înseriați între ei prin sudare sau lipire (fig. 6.33). Fiecare galet este realizat prin îndoirea pe lat (pe lățimea mare a secțiunii dreptunghiulare) a conductorului și fără întreruperea lui între cele două jumătăți ale galetului. În general, conductorul este neizolat, izolația între spire fiind constituită din benzi izolante, introduse pe măsura depănării spirelor. Între galeți se introduc rame izolante. Bobinele din conductor dreptunghiular îndoit pe muchie (pe latura mică a secțiunii dreptunghiulare) se folosesc cînd numărul de spire este redus, și mai ales pentru bobine de comutație (fig. 6.34). Izolația între spire este constituită din benzi izolante sau distanțoare izolante.

Cele două ieșiri ale bobinei (începutul și sfîrșitul bobinei) pot fi realizate cu cleme (v. fig. 6.32), cu cabluri lipite la capetele conductorului, sau cu capetele conductorului scoase în afara bobinei (v. fig. 6.34).

Bobinele polare pot fi izolate la exterior cu mai multe straturi de bandă izolantă, sau pot fi neizolate (numai strînse distanțat cu bandă de consolidare), urmînd ca polul să fie izolat, ca în figura 6.35. Miezul polului *1* este izolat cu mai multe straturi de material izolant *2*. Bobina 4 este izolată față de piesa polară prin rama izolantă inferioară *3*, iar față de carcasă prin rama izolantă superioară 5. Polul este strîns de carcasă cu șuruburile *6*.

Fig. 6.34. Bobină de comutație din conductor dreptunghiular îndoit în muchie.

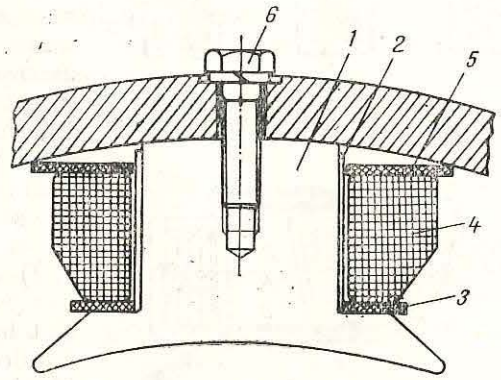


Fig. 6.35. Montarea bobinei polare la mașina de curent continuu.

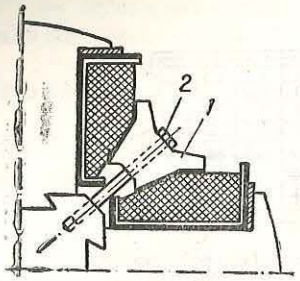


Fig. 6.36. Montarea bobinei polare la maşina sincronă.

La montarea bobinelor polare pe rotorul maşinii sincrone sistemul de izolare este similar. În plus, în acest caz bobinele se consolidează cu piesele de distanţare *1* strînse cu şuruburile *2*, pentru a rezista forţelor centrifuge (fig. 6.36).

Bobinele montate pe poli se leagă electric între ele, formînd înfăşurarea de excitaţie sau de comutaţie. Cele două capete ale înfăşurării sînt legate la două borne de pe placa de borne.

3. ÎNFĂŞURĂRI REPARTIZATE

Înfăşurările repartizate sînt realizate din bobine introduse în crestăturile miezului magnetic şi legate electric între ele.

La o bobină se deosebesc:

— *laturile bobinei* — părţile rectilinii ale bobinei, care se introduc în crestături;

— *capetele de bobină* — părţile din bobină aflate în afara miezului magnetic.

Distanţa periferică dintre punctele situate pe axele radiale a doi dinţi consecutivi sau două crestături consecutive se numeşte *pas dentar*. Numărul de paşi dentari care separă crestăturile în care sînt plasate cele două laturi ale bobinei se numeşte *pas de bobinaj*.

În funcţie de conductorul utilizat şi de procedeul tehnologic de fabricaţie, bobinele pentru înfăşurări repartizate se clasifică în:

— *bobine din conductor rotund izolat*, numite şi *bobine moi*;

— *bobine din conductor dreptunghiular izolat*;

— *bobine din conductor dreptunghiular de secţiune mai mare*, izolat sau neizolat, numite şi *bobine din bare*.

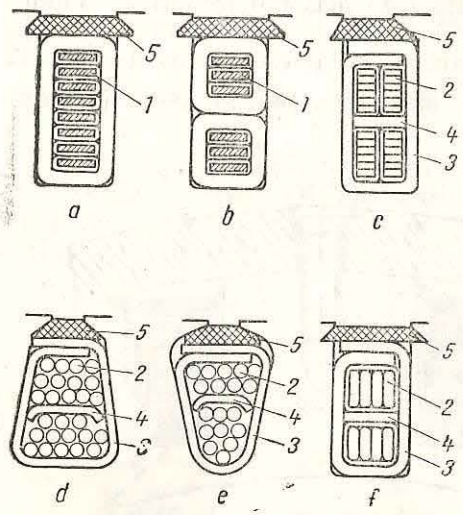


Fig. 6.37. Umplerea crestăturii şi izolarea ei:
1 — bobină izolată; *2* — bobină neizolată; *3* — izolaţia crestăturii; *4* — izolaţia între straturi; *5* — pană.

Bobinele moi nu sînt izolate: ele se folosesc la bobinarea miezurilor cu crestături semiînchise (fig. 6.37, *d*, *e*), prin introducerea fir cu fir în crestătură, prin deschiderea acesteia.

Bobinele din conductor dreptunghiular şi cele din bare pot fi preformate (numite şi *bobine rigide*), cînd au forma definitivă înainte de a fi montate în crestături, sau pot fi parţial formate (numite şi *bobine semirigide*), cînd părţile frontale şi conexiunile se formează după montare. Ele se folosesc la bobinarea miezurilor cu crestături deschise (fig. 6.37, *a*, *b*, *f*) sau semideschise (fig. 6.37, *c*) sau cu crestături închise atunci cînd sînt introduse axial în crestături.

Bobinele din conductor dreptunghiular pot fi:

— *neizolate*. Spirele din conductor izolat, care formează bobina, sînt

strînse cu o bandă de consolidare, iar izolaţia faţă de pereţii crestăturii va fi constituită dintr-o teacă izolantă introdusă în crestătură la bobinare şi răsfrîntă peste bobină în partea superioară;

— *cu izolaţie continuă*. Bobina este izolată la exterior cu bandă izolantă, continuu pe laturi şi capetele de bobină, fără întreruperea izolaţiei;

— *cu izolaţie discontinuă*. Fiecare latură este izolată cu cîte o teacă tare, obţinută din folie izolantă (micafoliu) presată la cald, prin operaţia numită micanizare, iar capetele de bobină sînt izolate cu bandă.

După modul de introducere a bobinelor în crestături, înfăşurările repartizate se împart în:

— *înfăşurări într-un singur strat*, cînd pe toată înălţimea crestăturii există o singură latură de bobină (fig. 6.37, *a*);

— *înfăşurări în două straturi*, la care într-o crestătură există două laturi de bobină, fiecare aparţinînd unei alte bobine, o latură situată în stratul inferior (spre fundul crestăturii) şi cealaltă în stratul superior (spre pana care închide crestătura), ca în figura 6.37, *b*, *d*, *e*, *f*.

Forma bobinelor şi a înfăşurărilor depinde de tipul maşinii electrice pentru care sînt utilizate.

Înfăşurări pentru rotoarele maşinilor de curent continuu. Aceste înfăşurări sînt formate din bobine egale, repartizate în crestături în două straturi şi legate la colector.

În afară de elementele constructive arătate la paragraful C 1, spira şi bobina, la înfăşurările de curent continuu un element electric de bază este *secţia*, formată din una sau mai multe spire şi care este legată între două lamele ale colectorului. Prin urmare, o înfăşurare de rotor de curent continuu este formată din mai multe bobine, fiecare bobină avînd una sau mai multe secţii şi fiecare secţie fiind formată de una sau mai multe spire. Fiecare spiră poate fi realizată cu un conductor sau din mai multe conductoare legate în paralel. Pentru fiecare secţie, bobina are cîte două capete de conductoare care urmează a fi lipite la colector.

După modul de legare a capetelor secţiilor la colector, înfăşurările pot fi *buclate*, atunci cînd capetele secţiilor se leagă la două lamele alăturate sau apropiate, sau pot fi *ondulate*, atunci cînd capetele secţiilor se leagă la două lamele situate la aproape un dublu pas de bobinaj.

Bobinele moi (fig. 6.38) sînt neizolate, avînd numai buclele capetelor de bobină strînse cu banda de consolidare. Capetele de bobină şi capetele de legătură nu sînt formate (sînt rectilinii), urmînd a fi formate în timpul bobinării. Pe capetele de legătură sînt introduse tuburi izolante colorate diferit, cu o culoare pentru fiecare secţie.

Bobina din conductor dreptunghiular din figura 6.39 este parţial formată, avînd capetele de bobină curbate la forma definitivă, însă capetele de

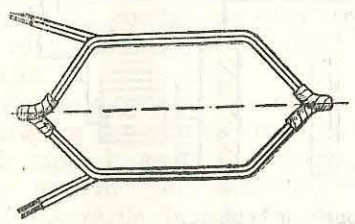


Fig. 6.38. Bobină moale din conductor rotund cu două secţii.

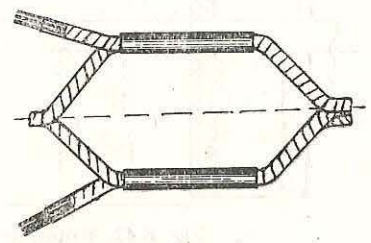


Fig. 6.39. Bobină din conductor dreptunghiular cu trei secţii şi cu mai multe spire pe secţie.

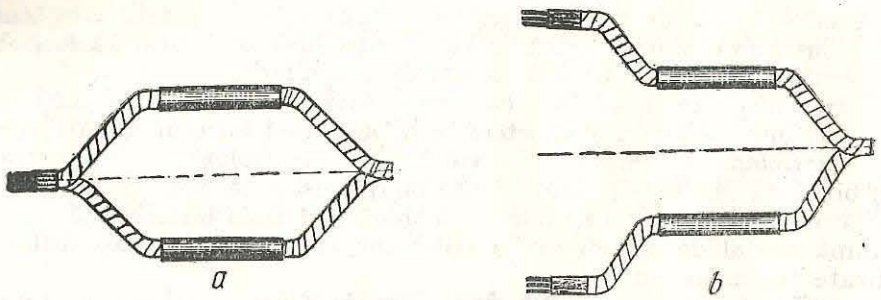


Fig. 6.40. Bobină din conductor dreptunghiular cu trei secţii, fiecare avînd o singură spiră:
a — pentru înfăşurare buclată; *b* — pentru înfăşurare ondulată.

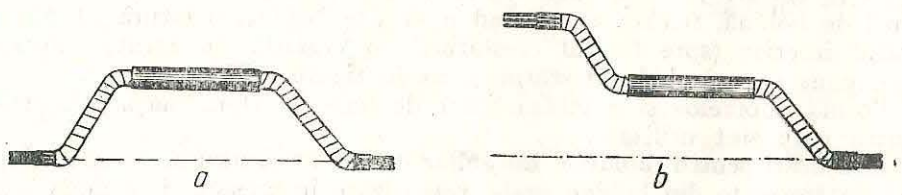


Fig. 6.41. Semibobină:
a — pentru înfăşurare buclată; *b* — pentru înfăşurare ondulată.

legătură la colector drepte, urmînd a fi formate în timpul bobinării. Bobina are două bucle la capătul de bobină opus colectorului, pentru a se scoate spre exterior capetele de legătură la colector.

Bobinele din conductor dreptunghiular (din bare) din figura 6.40 sînt preformate. Avînd o singură spiră pe secţie, au buclă de întoarcere numai la capătul de bobină opus colectorului, iar după modul de formare a capetelor de legătură la colector se recunosc uşor bobinele pentru înfăşurarea buclată (fig. 6.40, *a*) şi cele pentru înfăşurarea ondulată (fig. 6.40, *b*).

Înfăşurările din bare se pot realiza şi cu semibobine (fig. 6.41), care se înseriază cu mufe după montarea în crestături.

În figura 6.42 este indicat modul de montare şi izolare a bobinelor pe miezul rotoric. În fiecare crestătură se găsesc două laturi a două bobine

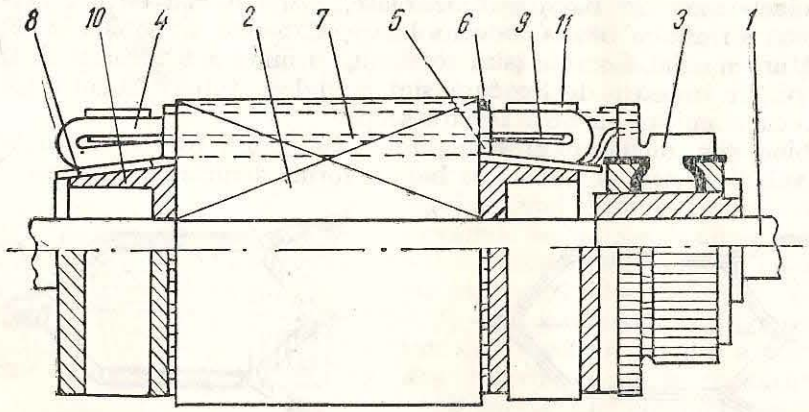


Fig. 6.42. Rotor de curent continuu bobinat:
1 — arbore; *2* — miez magnetic; *3* — colector; *4* — bobină; *5* — izolaţia crestăturii; *6* — pană; *7* — izolaţia între straturi; *8* — izolaţia suporţilor de bobinaj; *9* — izolaţia între straturile capetele de bobină; *10* — suporţi de bobinaj; *11* — bandaj.

diferite, izolate între ele prin izolaţia între straturi *7*. O bobină are una dintre laturi situată în stratul inferior al unei crestături, iar cealaltă latură în stratul superior al unei crestături situată la un pas de bobinaj. Faţă de miezul magnetic, înfăşurarea este izolată cu izolaţia de crestătură *5*, iar faţă de suporţii de bobinaj prin izolaţiile *8*. Înfăşurarea este consolidată pentru a rezista forţelor centrifuge prin penele *6* şi bandajele *11*. Bandajele se realizează fie cu sîrmă de oţel de rezistenţă mare, fie cu bandă din fire de sticlă.

Înfăşurări pentru statoarele maşinilor asincrone şi sincrone şi pentru rotoarele maşinilor asincrone cu rotorul bobinat. Aceste înfăşurări sînt formate din bobine, repartizate în crestături într-un singur strat sau în două straturi. Fiecare bobină este constituită din mai multe spire, dintr-un singur conductor sau mai multe conductoare în paralel şi are două capete pentru execuţia legăturilor electrice (fig. 6.43).

Pentru a se evita legăturile prea numeroase, la bobinele moi se realizează înfăşurarea din grupe de bobine, fiecare avînd mai multe bobine, fără întreruperea conductorului între bobine (fig. 6.44). De exemplu, o înfăşurare monofazată este realizată din două sau mai multe grupe de bobine, fiecare cu mai multe bobine, fiecare bobină avînd mai multe spire. Grupele de bobine sînt legate între ele, astfel încît înfăşurarea are două capete libere, care sînt legate la două borne de pe placa de borne. O înfăşurare trifazată are trei astfel de înfăşurări, deci are şase capete libere.

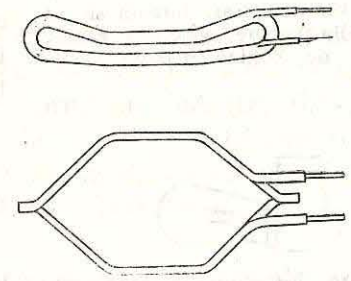


Fig. 6.43. Bobină din conductor dreptunghiular preformată.

Forma bobinelor poate fi dreptunghiulară (fig. 6.44, *a*), hexagonală (fig. 6.44, *b, e*), trapezoidală (fig. 6.44, *c, f*) sau cu capete rotunde (fig. 6.44, *d*). Înfăşurările pot fi realizate cu bobine concentrice (fig. 6.44, *a, b, c*), sau cu bobine egale (fig. 6.44, *d, e, f*).

Bobinele moi (fig. 6.44) sînt neizolate, iar bobinele din conductor dreptunghiular (v. fig. 6.43) sînt preformate şi izolate. Înfăşurările pot fi realizate şi din semibobine (din bare) similare celor din figura 6.41.

La maşinile mari, bara este formată din mai multe conductoare dreptunghiulare în paralel, cu transpoziţii pe porţiunea din crestătură, adică cu schimbarea poziţiei conductoarelor în cadrul pachetului de conductoare în paralel.

Forma capetelor de bobină ale înfăşurărilor depinde de forma bobinelor şi de tipul înfăşurării (într-un singur strat sau în două straturi).

Înfăşurările într-un singur strat, cu bobine dreptunghiulare concentrice, pot avea capetele de bobină:

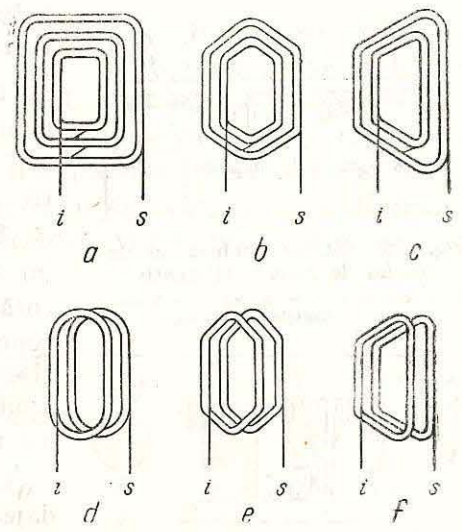


Fig. 6.44. Grupe de bobine:
a, b, c — concentrice; *d, e, f* — egale.

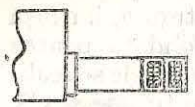


Fig. 6.45. Înfăşurare într-un singur strat, din bobine concentrice, cu capete de bobină într-un singur etaj.

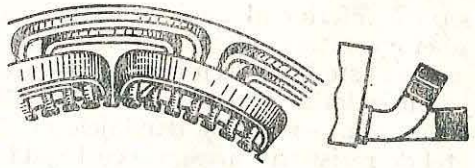


Fig. 6.46. Înfăşurare într-un singur strat, din bobine concentrice, cu capete de bobină în două etaje.

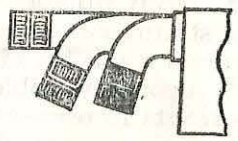


Fig. 6.47. Înfăşurare într-un singur strat, cu capete de bobină în trei etaje.

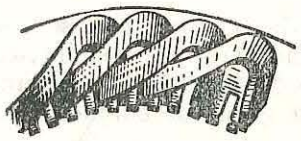


Fig. 6.48. Înfăşurare într-un singur strat, din bobine egale, cu capete de bobină în lanţ.

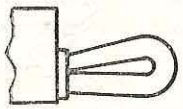


Fig. 6.49. Înfăşurare în două straturi, din bobine egale, cu capete de bobină în coroană.

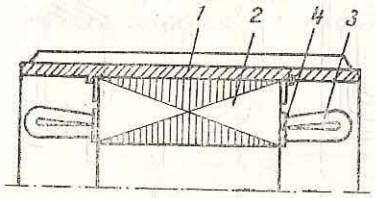


Fig. 6.50. Stator bobinat al unei maşini de curent alternativ:
1 — carcasă; *2* — miez; *3* — bobină; *4* — izolaţie crestătură.

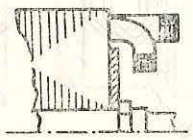


Fig. 6.51. Capetele de bobină în două etaje la o înfăşurare rotorică.

— într-un singur etaj ca în figura 6.45 (numai la înfăşurarea monofazată);

— în două etaje ca în figura 6.46, cînd capetele unor bobine sînt răsfrînte într-un al doilea plan pentru a face posibilă bobinarea;

— în trei etaje ca în figura 6.47, cînd capetele de bobină sînt situate în trei planuri.

Înfăşurările într-un singur strat cu bobine trapezoidale au capetele de bobine în lanţ, ca în figura 6.48.

Înfăşurările în două straturi au capetele de bobină în coroană ca în figura 6.49.

În figura 6.50 este indicat modul de montare şi izolare a bobinelor pe miezul stator al unei maşini de curent alternativ.

Înfăşurările peutru rotoarele maşinilor asincrone cu rotorul bobinat se execută fie într-un singur strat cu bobine concentrice şi capete de bobină în două etaje (fig. 6.51), fie în două straturi din semibobine (înfăşurare în bare) înseriate cu mufe la ambele capete.

Capetele de bobină la rotoare se bandajează sau, uneori, la înfăşurările într-un singur strat se consolidează de un inel de oţel.

Înfăşurări de compensaţie pentru maşini de curent continuu. Aceste înfăşurări sînt repartizate în crestăturile prevăzute în piesele polare ale polilor principali, şi se execută din bobine dreptunghiulare concentrice, într-un singur strat, cu capete de bobină într-un etaj, ca în figura 6.52. Bobina are o latură într-o crestătură a unei piese polare, iar cealaltă latură într-o crestătură a unei piese polare vecine.

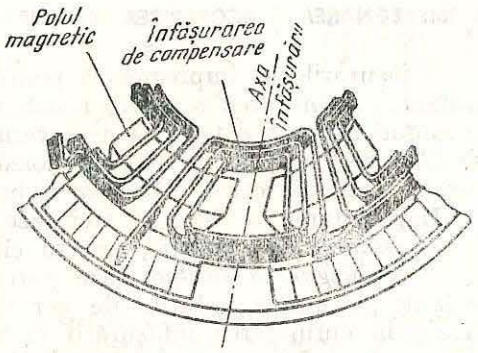


Fig. 6.52. Înfăşurare de compensaţie.

4. INFĂŞURĂRI ÎN SCURTCIRCUIT

Aceste înfăşurări, numite şi *înfăşurări în colivie de veveriţă*, sau simplu — *în colivie*, sînt formate dintr-un număr de bare introduse în crestături, neizolate, şi scurtcircuitate la capete printr-un inel (fig. 6.53).

Înfăşurările în colivie pentru maşini asincrone în scurtcircuit pot fi:

— *colivie simplă*, realizată din bare rotunde de cupru (fig. 6.54, *a*) introduse axial în crestături şi scurtcircuitate la ambele capete prin două inele, lipite sau sudate, formînd colivia;

— *colivia dublă*, realizată din două rînduri de bare rotunde, cele de la exterior din alamă şi cele din interior din cupru (fig. 6.54, *b*);

— *colivie din bare înalte* din cupru sau aluminiu (fig. 6.54, *c*, *d*), introduse prin deschizătura crestăturii;

— *colivie turnată* din aluminiu (fig. 6.54, *e*, *f*), la care se realizează prin turnare barele, inelele de scurtcircuitare şi eventual aripioare de răcire în părţile laterale ale inelelor de scurtcircuitare.

Înfăşurările de amortizare la rotoarele maşinii sincrone se realizează din bare rotunde introduse axial în crestărurile din piesele polare şi scurtcircuitate la capete prin lipire sau sudare, cu segmente de inele. Capetele segmentelor se scurtcircuitează cu segmentele vecine prin sudare sau cu şuruburi.

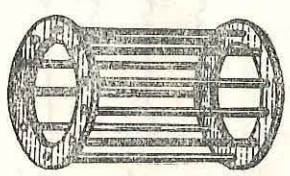


Fig. 6.53. Colivie de veveriţă.

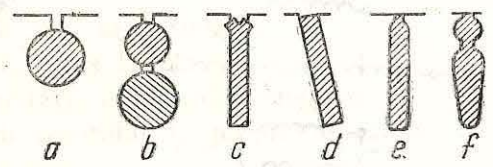


Fig. 6.54. Secţiune prin barele coliviei:
a — colivie simplă; *b* — colivie dublă; *c*, *d* — colivie din bare înalte; *e*, *f* — colivie turnată.

3. IMPREGNAREA ŞI ACOPERIREA ÎNFĂŞURĂRILOR

Înfăşurările se impregnează pentru a se îmbunătăţi calităţile electroizolante, stabilitatea termică, rezistenţa mecanică, rezistenţa la umiditate şi conductibilitatea termică a materialelor electroizolante. Pentru aceasta se folosesc lacuri de impregnare constituite în principal dintr-o răşină naturală sau sintetică, dizolvată într-un solvent.

Impregnarea se face în trei faze distincte:

— *uscarea în cuptoare,* pentru eliminarea umidităţii;

— *impregnarea în lac,* care pătrunde, în porii materialelor electroizolante şi umple golurile de aer din înfăşurare. Impregnarea se poate face prin cufundarea înfăşurării în bazine cu lac, sau prin introducerea în autoclave în care se creează vid, inundarea în autoclavă cu lac sub vid, apoi crearea unei suprapresiuni în autoclavă pentru a pătrunde lacul în profunzime;

— *uscarea în cuptoare a lacului pătruns în înfăşurare.* Prin aceasta se evaporă solventul, iar la unele tipuri de lacuri se produce şi o modificare chimică (polimerizare) a răşinii.

După impregnare, înfăşurările se acoperă cu un strat subţire şi lucios de lac de acoperire, prin pulverizare sau cufundare. Acest strat asigură protecţia înfăşurării contra umidităţii, contra depunerilor de praf şi contra diferiţilor agenţi chimici (ulei, vaselină uzată etc.).

D. CONEXIUNILE ÎNFĂŞURĂRILOR, SEMNE CONVENŢIONALE ŞI MARCAREA BORNELOR LA MAŞINI ELECTRICE

1. CONEXIUNILE ÎNFĂŞURĂRILOR

În schemele electrice, o înfăşurare este reprezentată convenţional ca în figura 6.55, *a*. Două înfăşurări ale unei maşini electrice, de exemplu, înfăşurarea de excitaţie şi înfăşurarea rotorului, la o maşină de curent continuu pot fi legate în serie ca în figura 6.55, *b*, sau în paralel ca în figura 6.55, *c*.

O înfăşurare trifazată este compusă din trei înfăşurări. Acestea pot fi legate în stea sau în triunghi.

Legăturile pot fi executate la placa de borne, în care caz din înfăşurare sînt scoase la placa de borne şase capete libere ale înfăşurărilor, sau pot fi executate la înfăşurare, în care caz sînt scoase la placa de borne numai trei capete libere.

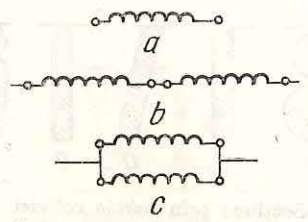


Fig. 6.55. Legarea în serie şi în paralel a înfăşurărilor.

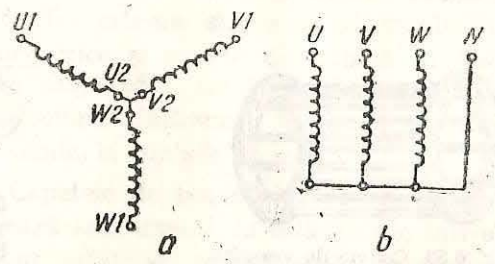


Fig. 6.56. Conexiunea stea.

La conexiunea în stea (fig. 6.56, *a*) trei capete ale înfăşurărilor sînt legate la un punct comun numit *punct neutru* sau *de nul,* iar trei capete rămîn libere pentru conectare la reţeaua trifazată. Cînd conexiunea se execută la înfăşurare, punctul neutru poate rămîne izolat, sau poate fi scos şi el afară la placa de borne, ca în figura 6.56, *b*.

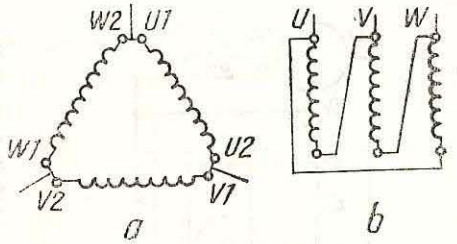


Fig. 6.57. Conexiunea triunghi.

La conexiunea triunghi (fig. 6.57, *a*) sfîrşitul primei înfăşurări de fază este legat cu începutul celei de a doua înfăşurări etc., formînd un circuit închis. În figura 6.57, *b* este indicat un alt mod de reprezentare a schemei conexiunii triunghi.

2. MARCAREA BORNELOR

Pentru a se putea executa legături electrice corecte la maşinile electrice, capetele libere ale înfăşurărilor şi bornele la care sînt legate se marchează cu litere mari şi cifre, astfel:

La maşinile de curent continuu, marcarea se face cu:

— A_1, A_2, pentru înfăşurarea rotorului;
— B_1, B_2, pentru înfăşurarea de comutaţie;
— C_1, C_2, pentru înfăşurarea de compensaţie;
— D_1, D_2, pentru înfăşurarea de excitaţie legată în serie cu înfăşurarea rotorului;
— E_1, E_2, pentru înfăşurarea de excitaţie legată în paralel cu înfăşurarea rotorului;
— F_1, F_2, pentru înfăşurarea de excitaţie separată, adică alimentată de la o sursă separată.

La maşinile de curent alternativ monofazate fără colector:

— U_1, U_2, pentru înfăşurarea principală;
— Z_1, Z_2, pentru înfăşurarea auxiliară.

La maşinile de curent alternativ trifazate fără colector:

— U_1, U_2,
— V_1, V_2,
— W_1, W_2,
} extremităţile celor trei înfăşurări de fază;
— U, V, W — bornele conexiunii stea sau triunghi;
— N — borna pentru nulul scos la placa de borne;
— F_1, F_2, — înfăşurarea de excitaţie a maşinilor sincrone;
— K, L, M — bornele înfăşurării rotorului la maşini asincrone cu inele.

Bornele se marchează ca şi extremitatea înfăşurării care este legată la ea.

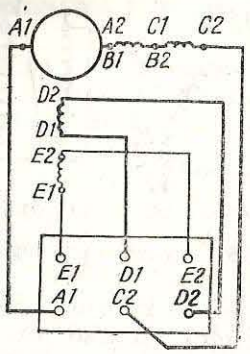


Fig. 6.58. Schema unei mașini de curent continuu.

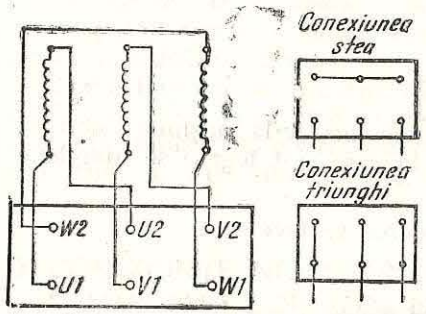


Fig. 6.59. Legarea în stea sau în triunghi la placa de borne, a înfășurării trifazate.

În figura 6.58 este reprezentată schema înfășurărilor și a plăcii de borne la o mașină de curent continuu și modul de conectare a bornelor pentru ca mașina să funcționeze ca motor cu sensul de rotație orar (sensul acelor de ceasornic) văzut dinspre capătul de arbore. Înfășurările rotorului, de comutație și de compensație, sînt înseriate în interior, astfel încît la borne sînt scoase două extremități, bornele respective marcîndu-se conform acestor extremități.

În figura 6.59 este reprezentată schema unei înfășurări trifazate cu șase capete scoase la placa de borne și modul de conectare a bornelor pentru realizarea conexiunii stea sau conexiunii triunghi.

3. SEMNE CONVENȚIONALE

Pe plăcuța indicatoare a mașinii se folosesc următoarele semne convenționale pentru a indica:

— *felul curentului*

— pentru curent continuu,

1 ~ pentru curent alternativ monofazat,

3 ~ pentru curent alternativ trifazat,

≂ pentru curent continuu și alternativ;

— *modul de lucru*

M pentru motor (*MS* la motorul sincron),

G pentru generator (*GS* la generatorul sincron),

— *modul de conectare a excitației la mașina de curent continuu*

I pentru excitație separată (independentă),

D pentru excitație derivație (conectată în paralel cu înfășurarea rotorului),

S pentru excitație serie,

C pentru excitație compusă (mixtă), cînd mașina are o înfășurare de excitație legată în serie cu rotorul și o a doua înfășurare de excitație legată în paralel cu rotorul;

— *conexiunea înfășurării statorului la mașini de curent alternativ*

| monofazat,

⊤ monofazat cu înfășurare auxiliară,

⫼ trifazat cu înfășurare de fază separate,

△ trifazat în triunghi,

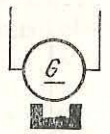
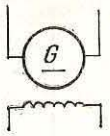
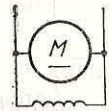
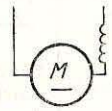
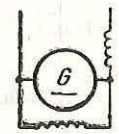
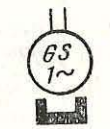
Y trifazat în stea,

⅄ trifazat în stea cu neutrul scos.

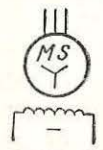
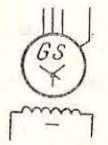
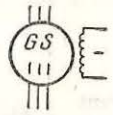
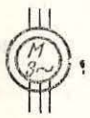
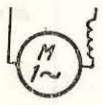
În tabelul 6.3 sînt indicate semnele convețională utilizate în schemele electrice, pentru mașini electrice rotative.

Tabelul 6.3

Semne convenționale pentru mașini electrice rotative

Tipul mașinii		Semnul convențional
Mașină de curent continuu, generator *(G)* sau motor *(M)*	cu magneți permanenți	
	cu excitație separată	
	cu excitație derivație	
	cu excitație serie	
	cu excitație mixtă	
Mașină sincronă generator *(GS)* sau motor *(MS)*	cu magneți permanenți monofazat	
	cu excitație separată monofazat	

Tabelul 6.3 (continuare)

Tipul maşinii		Semnul convenţional
	trifazat, conexiune stea	
	trifazat, conexiune stea cu neutrul scos la placa de borne	
	trifazat cu şase borne de ieşire	
Motoare asincrone	trifazat, cu rotorul în scurtcircuit, înfăşurarea statorului legată în triunghi (Δ) sau în stea (Y)	
	trifazat, cu rotorul în scurtcircuit, cu şase borne de ieşire ale înfăşurării statorului	
	trifazat, cu rotor bobinat	
	monofazat	
	monofazat, cu borne de ieşire pentru faza auxiliară	
Motoare de curent alternativ cu colector	monofazat, cu excitaţie serie	

E. ROLUL ŞI CLASIFICAREA TRANSFORMATOARELOR ELECTRICE

1. ROLUL TRANSFORMATOARELOR ELECTRICE

Transformatorul electric este un aparat electromagnetic constituit din două sau mai multe înfăşurări imobile, între care are loc un transfer de energie electrică şi care modifică parametrii puterii electromagnetice transferate de la o reţea primară de curent alternativ la o reţea secundară tot de curent alternativ.

În procesul de producere, transport şi distribuţie a energiei electrice se folosesc tensiuni optime din punct de vedere tehnic şi economic. Astfel, se folosesc tensiuni medii la generatoarele din centralele electrice, tensiuni înalte pe liniile de transport şi tensiuni joase pentru distribuţia energiei electrice la consumatori.

Transformatorul are rolul de a transforma parametrii energiei electrice de curent alternativ (tensiunea, intensitatea curentului şi uneori numărul de faze) după necesităţi.

2. CLASIFICAREA TRANSFORMATOARELOR ELECTRICE

După **domeniul de utilizare,** transformatoarele se pot clasifica în :

— *transformatoare de putere,* pentru reţelele de transport şi distribuţie a energiei electrice ;

— *transformatoare cu destinaţie specială,* pentru reţele cu condiţii deosebite de funcţionare, de exemplu, pentru reţele şi instalaţii subterane miniere, navale etc. ;

— *transformatoare de construcţie specială,* de exemplu, pentru redresoare, pentru cuptoare electrice, pentru sudare etc. ;

— *transformatoare de măsură,* pentru conectarea indirectă a aparatelor de măsură a tensiunilor şi curenţilor mari ;

— *transformatoare de putere mică,* cum sînt transformatoarele de siguranţă, de izolare, de separare, de comandă, de alimentare etc.

După **numărul de faze,** transformatoarele se clasifică în :

— *monofazate ;*

— *polifazate* (între acestea, transformatoarele trifazate sînt cele mai utilizate).

După **modul de răcire,** transformatoarele se clasifică în :

— *transformatoare uscate,* a căror parte activă se află într-un dielectric solid (răşină, nisip) sau sînt răcite cu un gaz. Cînd gazul de răcire este aerul, se numesc *transformatoare în aer,* răcirea făcîndu-se fie prin circulaţia naturală a aerului, fie prin circulaţie forţată cu un ventilator ;

— *transformatoare în ulei,* care sînt cele mai utilizate. Partea activă a transformatorului (miezul şi înfăşurările) este cufundată în ulei special de transformator, într-o cuvă de tablă prevăzută la exterior cu elemente de răcire (ondule, ţevi sau radiatoare). Uleiul are rol de izolant electric şi de agent de răcire, transportînd căldura de la partea activă la elementele de răcire. Circulaţia uleiului poate fi *naturală* (datorită diferenţei de densitate a uleiului rece de la fundul cuvei faţă de uleiul cald din partea superioară) sau *forţată,* cu ajutorul unei pompe. Răcirea suprafeţei exte-

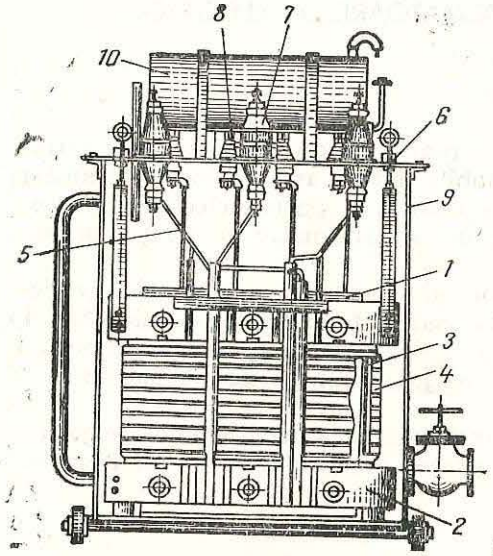


Fig. 6.60. Părţile componente principale ale transformatorului trifazat în ulei:
1 — circuit magnetic; *2* — grinzile schelei; *3* — înfăşurarea de joasă tensiune; *4* — înfăşurarea de înaltă tensiune; *5* — conexiuni; *6* — capac; *7* — borne de înaltă tensiune; *8* — borne de joasă tensiune; *9* — cuvă; *10* — conservatorul de ulei.

rioare a elementelor de răcire poate fi cu circulaţie naturală a aerului, cu circulaţie forţată prin sulfare cu aer, sau cu apă.

Protecţia contra atingerilor accidentale, pătrunderii corpurilor străine în interior şi protecţia contra pătrunderii apei sînt simbolizate la fel ca la motoare, tipurile de protecţie cele mai utilizate fiind: IP00, IP20, IP30, IP43, IP44, IP45.

3. PĂRŢILE COMPONENTE PRINCIPALE ALE TRANSFORMATORULUI

Domeniile de utilizare şi modurile de răcire fiind foarte diferite şi tipurile constructive sînt numeroase.

La transformatorul de putere trifazat în ulei, care este tipul cel mai utilizat, părţile componente principale sînt (fig. 6.60):

— *circuitul magnetic;*

— *înfăşurările* (înfăşurarea de joasă tensiune şi înfăşurarea de înaltă tensiune);

— *schela* (ansamblul de piese, în principal grinzile de presare a jugurilor) care consolidează circuitul magnetic şi strînge axial înfăşurările;

— *cuva* din tablă de oţel, prevăzută la exterior cu dispozitive de răcire (ondule, ţevi, radiatoare etc.) şi care este umplută cu ulei de transformator;

— *comutatorul de prize,* cu ajutorul căruia se reglează tensiunea transformatorului;

— *conexiunile* de la înfăşurări la comutator şi borne;

— *capacul,* care închide etanş cuva şi pe care sînt montate bornele;

— *conservatorul de ulei,* care comunică printr-o conductă cu cuva şi este parţial umplut cu ulei, astfel încît preia variaţiile de nivel ale uleiului ce au loc atunci cînd variază temperatura uleiului;

— alte *organe anexă,* cum sînt: filtrul de aer, releul de gaze, termometrul etc.

4. CARACTERISTICI NOMINALE

Transformatorul este caracterizat în principal prin următoarele mărimi nominale:

— puterea nominală, măsurată în kilovoltamperi [kVA];

— tensiunile nominale ale înfăşurărilor, măsurate în volţi [V] sau kilovolţi [kV];

— curenţii nominali ai înfăşurărilor, măsuraţi în amperi [A];

— frecvenţa nominală, măsurată în herţi [Hz];

— durata de acţionare relativă, în procente.

Fiecare transformator are fixată la exterior o *plăcuţă indicatoare* în care sînt inscripţionate în principal:

— întreprinderea producătoare şi tipul transformatorului;

— mărimile nominale;

— numărul de faze;

— modul de răcire;

— conexiunea.

În ţara noastră se execută toată gama de transformatoare de putere de la 10 kVA la 400 000 kVA, transformatoare mici cu puteri de la 16 VA la 10 kVA, transformatoare de măsură etc.

F. CIRCUITE MAGNETICE (MIEZURI MAGNETICE) PENTRU TRANSFORMATOARE

1. CLASIFICARE, MATERIALE UTILIZATE

Circuitele magnetice pentru transformatoare sînt pentru flux variabil şi se execută din tablă de oţel electrotehnic laminată la cald sau laminată la rece.

Tabla laminată la cald este bogat aliată cu siliciu (pînă la 4%), are grosimea de 0,35 sau 0,5 mm şi se izolează pe ambele feţe cu lac.

Construcţiile moderne de transformatoare utilizează tablă laminată la rece; deoarece la transformatoare direcţia liniilor de cîmp nu se schimbă, se poate utiliza tabla cu cristale orientate, care are proprietăţi magnetice mult superioare, atunci cînd direcţia liniilor de cîmp coincide cu direcţia de laminare a tablei. Trebuie menţionat că în direcţia perpendiculară pe direcţia de laminare, tabla laminată la rece cu cristale orientate are proprietăţi mai slabe chiar decît tabla laminată la cald, şi, de aceea, construcţia miezurilor diferă după calitatea de tablă utilizată.

Tabla laminată la rece cu cristale orientate are grosimea de 0,3—0,35 mm şi este izolată pe ambele feţe cu straturi de oxizi sau material ceramic numit *carlit,* rezistente la temperatura de 800°C.

După numărul de faze ale transformatorului, circuitele magnetice se clasifică în *monofazate* (fig. 6.61) şi *trifazate* (fig. 6.62).

La un circuit magnetic se deosebesc următoarele părţi:

— *coloanele* — părţile din circuitul magnetic pe care sau în jurul cărora sînt dispuse înfăşurările;

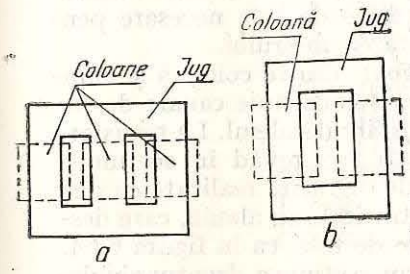


Fig. 6.61. Schema circuitului m netic monofazat:
a — în manta; *b* — cu coloane.

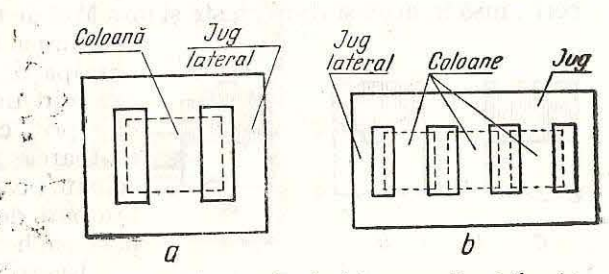


Fig. 6.62. Schema circuitului magnetic trifazat:
a — cu coloane; *b* — cu oloane şi în manta.

— *jugurile* — părţile din circuitul magnetic care nu au înfăşurări şi care servesc la închiderea circuitului magnetic. Cînd jugul leagă cele două capete ale unei coloane, se numeşte *jug lateral.*

Tipurile constructive principale de circuite magnetice sînt:

— *circuit magnetic în manta,* la care ambele capete ale unei coloane sînt legate cu două juguri laterale (fig. 6.61, *a*);

— *circuit magnetic cu coloane,* la care jugurile unesc capetele diferitelor coloane şi nu există juguri laterale (fig. 6.61, *b* şi 6.62, *a*);

— *circuit magnetic cu coloane şi în manta,* la care unele coloane au cîte un jug lateral (fig. 6.62, *b*).

În schemele din figurile 6.61 şi 6.62 s-au indicat cu linie întreruptă locurile unde se montează înfăşurările.

2. CONSTRUCŢIA CIRCUITELOR MAGNETICE PENTRU TRANSFORMATOARE

Forma secţiunii coloanelor este diferită după tipul şi puterea transformatorului. La transformatoarele mici, secţiunea prin coloană este dreptunghiulară (fig. 6.63, *a*), în care caz şi bobinele ce se introduc pe coloană sînt dreptunghiulare. La transformatoarele mai mari, bobinele se construiesc numai cilindric şi ca urmare, secţiunea prin coloană se construieşte în trepte (fig. 6.63, *b* şi *c*). Cu cît numărul treptelor este mai mare, cu atît şi secţiunea de fier este mai mare pentru acelaşi diametru al cercului circumscris, însă în acelaşi timp creşte şi numărul de formate de tole necesare pentru împachetarea miezului.

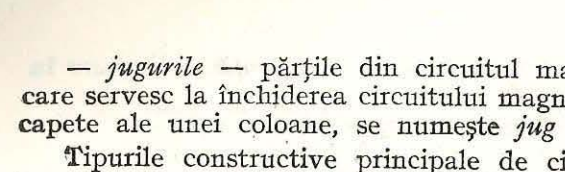


Fig. 6.63. Secţiune prin coloană:
a — dreptunghiulară; *b* — cu o treaptă; *c* — cu trei trepte.

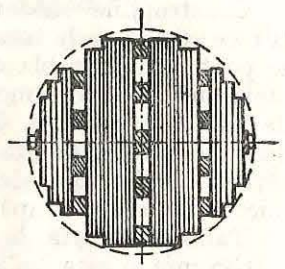


Fig. 6.64. Secţiune prin coloană cu canale de răcire.

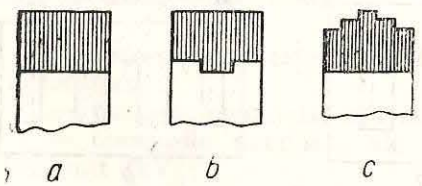


Fig. 6.65. Secţiune prin jug:
a — dreptunghiular; *b* — cu o treaptă la interior; *c* — cu două trepte la exterior.

Spaţiile goale dintre coloană şi cilindrul circumscris constituie canale de răcire prin care circulă uleiul. La transformatoarele mari se prevăd în secţiunea coloanei canale de răcire realizate cu distanţoare de straticel sau alamă, care despart pachetele de tole, ca în figura 6.64.

Jugurile au secţiunea dreptunghiulară sau au una sau două trepte la interior sau la exteriorul miezului (fig. 6.65).

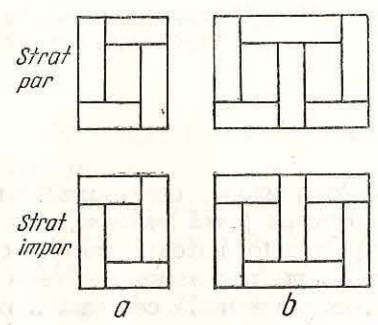


Fig. 6.66. Ţeserea miezurilor din tablă laminată la cald cu joncţiuni drepte:
a — monofazat; *b* — trifazat.

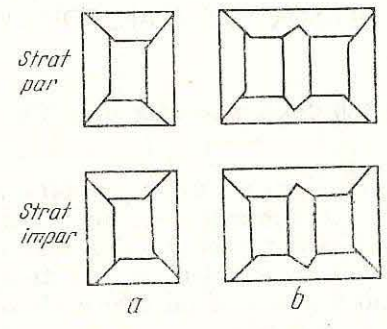


Fig. 6.67. Ţeserea miezurilor din tablă laminată la rece cu joncţiuni oblice:
a — monofazat; *b* — trifazat.

În afară de circuitele magnetice pentru transformatoarele mici, care fac obiectul subcapitolului I, la transformatoarele mai mari circuitele magnetice se realizează din tole dreptunghiulare împachetate ţesut, alternînd dispunerea joncţiunilor între tole. Ţeserea se realizează alternîndu-se straturi de 2—3 rînduri de tole, dispuse ca în figura 6.66.

La circuitele magnetice din tablă laminată la rece cu cristale orientate, pentru ca direcţia de laminare a tablei să coincidă cît mai mult cu direcţia liniilor de cîmp, împachetarea se realizează cu joncţiuni oblice la 30° sau 45° ca în figura 6.67.

Consolidarea miezurilor se realizează prin strîngere cu bandă de bumbac, prin lipire sau cu şuruburi. Jugurile se strîng de grinzile schelei (fig. 6.68). Atît grinzile schelei cît şi şuruburile de strîngere sînt izolate faţă de miez.

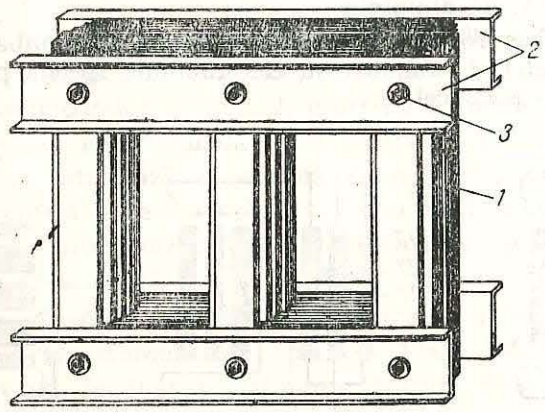


Fig. 6.68. Circuit magnetic strîns cu şuruburi şi grinzi metalice:
1 — miez; *2* — grinzi; *3* — şuruburi.

G. ÎNFĂŞURĂRILE TRANSFORMATOARELOR

1. CLASIFICARE. MATERIALE UTILIZATE

Transformatorul are o *înfăşurare de înaltă tensiune,* corespunzătoare tensiunii nominale celei mai mari, şi *o înfăşurare de joasă tensiune,* corespunzătoare tensiunii celei mai mici. Există transformatoare numite cu trei înfăşurări, care au o a treia *înfăşurare de medie tensiune,* corespunzătoare unei tensiuni intermediare între tensiunea nominală cea mai mare şi cea mai mică.

Fiecare înfăşurare este formată din una sau mai multe *bobine* legate între ele (în serie sau în paralel), fiecare bobină avînd mai multe *spire.*

La transformatoarele trifazate, fiecare înfăşurare (de înaltă tensiune sau de joasă tensiune) este formată din trei înfăşurări de fază, iar pe o coloană sînt montate cîte o înfăşurare de fază de înaltă tensiune şi una de joasă tensiune.

Aşezarea înfăşurărilor pe coloana circuitului magnetic se poate face:

— *concentric,* atunci cînd înfăşurarea de joasă tensiune este aşezată la interior lîngă miez, deoarece este mai uşor de izolat faţă de acesta, iar înfăşurarea de înaltă tensiune, care are aceeaşi înălţime, este montată la exterior (fig. 6.69, *a*);

— *biconcentric,* atunci cînd una dintre înfăşurări este divizată în două părţi (fig. 6.69, *b*);

— *alternat,* atunci cînd bobinele înfăşurării de înaltă tensiune şi de joasă tensiune sînt montate alternativ pe coloană (fig. 6.69, *c*).

La transformatoarele uscate se utilizează aceleaşi materiale (conductoare şi materiale electroizolante) ca la maşinile electrice rotative, avînd clasa de izolaţie B sau F.

La transformatoarele în ulei, clasa de izolaţie este clasa A, limitată de clasa de izolaţie a uleiului de transformator. Se folosesc conductoare izolate cu mai multe straturi de hîrtie, de cupru sau, la transformatoare pînă la 1 600 kVA, de aluminiu.

Ca materiale electroizolante se folosesc benzi de bumbac, mătase, hîrtie cu grosime sub 0,1 mm, carton electrotehnic special pentru transformatoare în ulei, straticel etc.

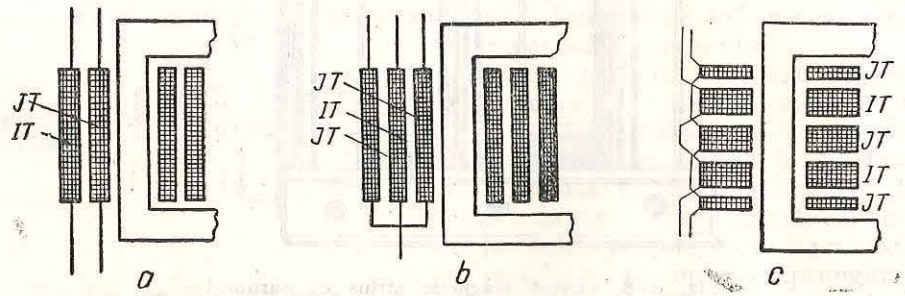


Fig. 6.69. Dispunerea înfăşurărilor pe coloană:
a — concentric; *b* — biconcentric; *c* — alternat.

2. TIPURI DE ÎNFĂŞURĂRI PENTRU TRANSFORMATOARE

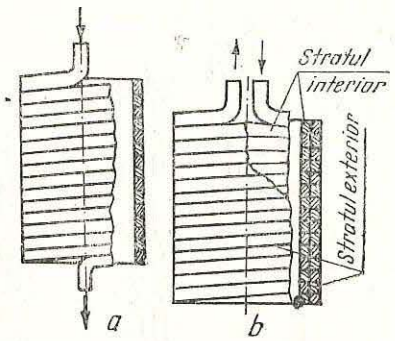


Fig. 6.70. Înfăşurare cilindrică:
a — simplă; *b* — în două straturi.

Principalele tipuri de înfăşurări pentru transformatoare sînt:

— *Înfăşurare cilindrică,* folosită pe partea de joasă tensiune la transformatoare de putere mică. Se execută din conductor dreptunghiular, îndoit pe lat sau pe muchie, sub forma unei elice cu spirele lipite între ele. Înfăşurarea poate fi executată într-un singur strat, ca în figura 6.70, *a,* avînd ieşirile situate la cele două capete opuse ale înfăşurării (numită şi *înfăşurare cilindrică simplă*), sau în două straturi, ca în figura 6.70, *b,* cînd ieşirile sînt situate în aceeaşi parte a înfăşurării.

La capetele înfăşurării se aşază inele de egalizare din material electroizolant pentru a realiza planuri frontale perpendiculare pe axa înfăşurării. Pentru curenţi mai mari, bobinele cilindrice se execută din mai multe conductoare în paralel.

— *Înfăşurare elicoidală (spirală),* folosită la transformatoare de putere mai mare în locul înfăşurării cilindrice. Cînd numărul de conductoare în paralel al unei înfăşurări cilindrice este mai mare, uneori pînă la 20, grosimea spirei este relativ mare, şi, pentru a se îmbunătăţi răcirea, spirele înfăşurării cilindrice sînt distanţate între ele, pentru a permite circulaţia uleiului între ele. În acest fel, înfăşurarea are spirele dispuse după o elice şi se numeşte *înfăşurare elicoidală.* Fiecare spiră este formată din mai multe conductoare în paralel, izolate între ele şi îndoite pe lat, ca în figura 6.71, *a.*

Folosindu-se mai multe conductoare în paralel, atît la înfăşurările cilindrice cît mai ales la cele elicoidale, se schimbă din loc în loc ordinea de aşezare a conductoarelor în paralel, prin aşa-numitele *transpoziţii,* dispuse uniform pe axa longitudinală a înfăşurării ca în schema din figura 6.71, *b.* Uneori se utilizează o schemă simplificată, folosindu-se cîteva transpoziţii concentrate; de exemplu, în figura 6.72, o transpoziţie generală, în care îşi schimbă poziţia toate conductoarele, şi două transpoziţii grupate, în care se schimbă poziţia a două grupe de conductoare.

— *Înfăşurare cilindrică în straturi (stratificată),* folosită pe partea de înaltă tensiune la transformatoarele pînă la 1 600 kVA. Ele se execută din conductor rotund, depănat în mai multe straturi, direct pe un cilindru izolant sau pe pene distanţoare (fig. 6.73).

— *Înfăşurare în bobine,* în mai multe straturi (înfăşurări secţionate), olosită în locul celei stratificate, cînd grosimea înfăşurării împiedică răcirea.

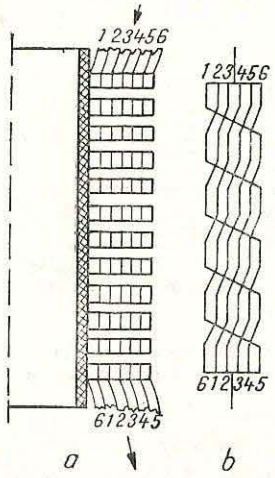


Fig. 6.71. Înfăşurare elicoidală cu 12 spire cu 6 conductoare în paralel:
a — secţiune prin înfăşurare; *b* — schema transpoziţiilor uniform distribuite.

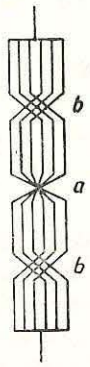


Fig. 6.72. Schema transpoziţiilor concentrate:
a — transpoziţie generală; *b* — transpoziţii grupate.

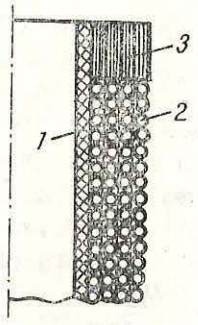


Fig. 6.73. Înfăşurarea cilindrică în straturi:
1 — cilindru izolant; *b* — izolaţie între straturi; *3* — izolaţie la capăt.

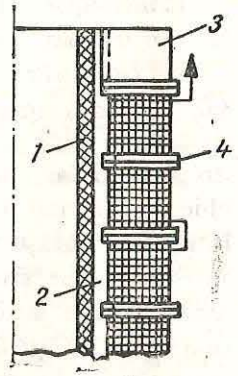


Fig. 6.74. Înfăşurarea în bobine:
1 — cilindru izolant; *2* — distanţoare axiale; *3* — izolaţie de capăt; *4* — distanţoare radiale.

Ea este formată din mai multe bobine, separate între ele prin distanţoare, depănate de regulă fără întreruperea conductorului (fig. 6.74).

— *Înfăşurarea în găleţi*, formată din mai mulţi galeţi dubli sau jumelaţi, din conductor dreptunghiular îndoit pe lat, legaţi între ei. Galetul jumelat este format din doi galeţi simpli, înseriaţi la interior fără întreruperea conductorului, ambele ieşiri ale galetului găsindu-se la exterior (fig. 6.75).

— *Înfăşurare continuă*, folosită în locul înfăşurării în galeţi, pentru a se evita prea multe legături între galeţi. Ea este formată dintr-un număr par de galeţi din conductor dreptunghiular îndoit pe lat şi depănat fără întreruperea conductorului (fig. 6.76), astfel încît ambele ieşiri din înfăşurări sînt la exterior. Galeţii sînt separaţi prin distanţoare, pentru a permite circulaţia uleiului.

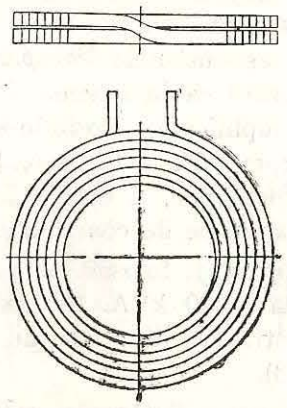


Fig. 6.75. Galet jumelat.

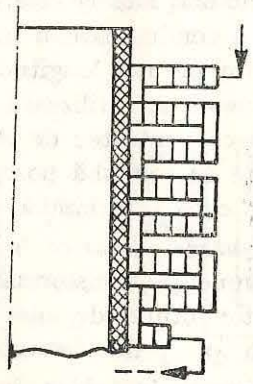


Fig. 6.76. Secţiune prin înfăşurare continuă.

3. IZOLAREA ŞI MONTAREA ÎNFĂŞURĂRILOR

La montarea înfăşurărilor pe coloanele circuitului magnetic se iau măsuri pentru consolidarea şi izolarea înfăşurărilor (fig. 6.77).

Izolaţia faţă de coloană şi izolaţia între înfăşurări este constituită din cilindri izolanţi din straticel, consolidarea realizîndu-se cu pene cilindrice de lemn faţă de miez şi din distanţoare axiale între înfăşurări. Faţă de jug şi grinzile schelei se utilizează inele izolante şi izolaţii de egalizare. Între faze sînt prevăzute paravane izolante.

Pentru a se realiza reglarea tensiunii, din înfăşurarea de înaltă tensiune se scot prize, de regulă de la mijlocul înfăşurării, care se leagă la comutator.

Uneori înfăşurarea de înaltă tensiune are bobine izolate în mod special aşezate în vecinătatea bornelor de linie, numite *bobine de intrare* ale înfăşurării, şi un ecran electrostatic format dintr-un inel metalic neînchis, legat la prima spiră, numit *inel capacitiv* al înfăşurării.

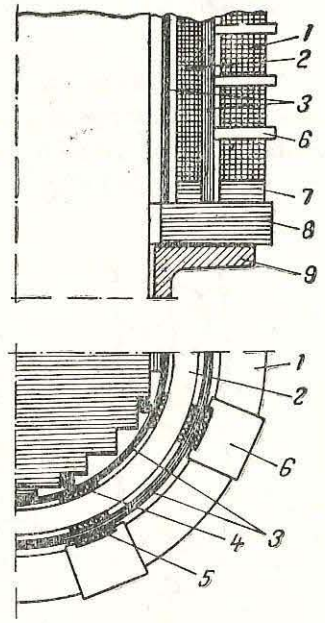


Fig. 6.77. Izolarea înfăşurărilor:
1 — înfăşurare de înaltă tensiune; *2* — înfăşurare de joasă tensiune; *3* — cilindru izolant; *4* — pană; *5* — distanţoare axiale; *6* — distanţoare radiale; *7* — inele izolante; *8* — izolaţie de egalizare; *9* — grinda schelei.

H. MARCAREA BORNELOR, CONEXIUNILE TRANSFORMATOARELOR ŞI SEMNE CONVENŢIONALE

1. MARCAREA BORNELOR

Extremităţile înfăşurărilor şi bornele transformatoarelor se marchează cu litere mari pentru înfăşurarea cu tensiunea cea mai mare şi cu literă mică pentru înfăşurarea cu tensiunea cea mai mică.

Pentru începuturile înfăşurărilor se folosesc literele de la începutul alfabetului: *A*, *B*, *C*, respectiv *a*, *b*, *c*, iar pentru sfîrşitul înfăşurărilor, literele de la sfîrşitul alfabetului: *X*, *Y*, *Z*, respectiv *x*, *y*, *z*.

Pentru neutrul care este scos pe capac se folosesc literele *N*, respectiv *n*.

Aşezarea bornelor pe capacul transformatorului trifazat se face astfel, încît succesiunea literelor să fie de la stînga la dreapta privind dinspre partea de înaltă tensiune (fig. 6.78).

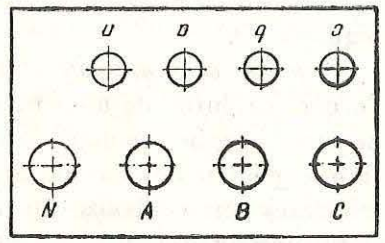


Fig. 6.78. Aşezarea bornelor pe capacul unui transformator trifazat.

Înfăşurările de fază ale înfăşurării de înaltă tensiune şi ale celei de joasă tensiune, la un transformator trifazat, pot fi legate ca şi la maşinile electrice rotative în stea sau în triunghi. În afară de aceasta, la transformatoare se mai foloseşte la înfăşurarea de joasă tensiune conexiunea zigzag. La această

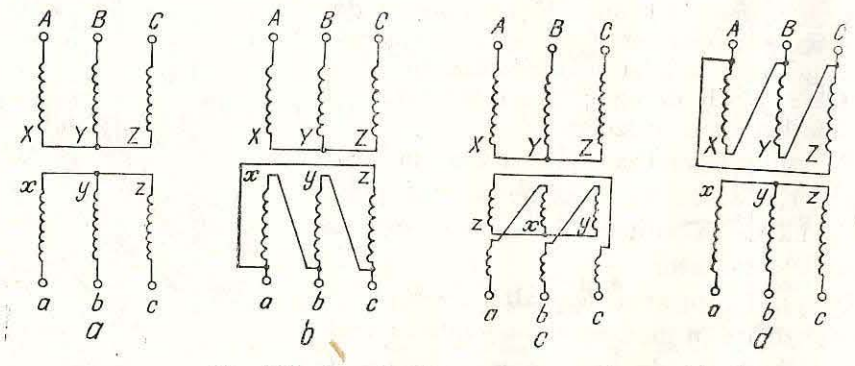


Fig. 6.79. Conexiunile transformatoarelor:
a — stea-stea; *b* — stea-triunghi; *c* — stea-zigzag; *d* — triunghi-stea.

conexiune, fiecare înfăşurare de fază este împărţită în două. O jumătate este montată pe o coloană, iar cealaltă jumătate pe altă coloană.

Prin urmare, înfăşurarea de înaltă tensiune poate fi legată în stea sau în triunghi, iar înfăşurarea de joasă tensiune poate fi legată în stea, în triunghi sau în zigzag. Din combaterea acestor posibilităţi rezultă mai multe conexiuni, din care cele mai utilizate sînt: stea-stea, stea-triunghi, stea-zigzag, triunghi-stea (fig. 6.79).

3. SEMNE CONVENŢIONALE

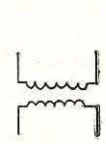
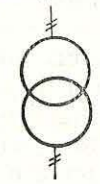
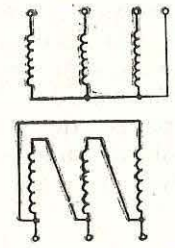
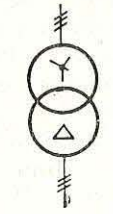
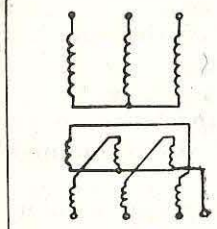
În schemele electrice se utilizează două categorii de semne convenţionale: detaliate şi simplificate.

Semnele convenţionale detaliate sînt identice cu schemele arătate în figura 6.79.

Semnele convenţionale simplificate sînt utilizate în schemele monofilare în care cablurile de alimentare sînt reprezentate printr-o singură linie, intersectată oblic cu două liniuţe pentru alimentare monofazată şi cu trei liniuţe pentru alimentare trifazată. Cele două înfăşurări (monofazate sau trifazate) sînt simbolizate prin două cercuri care se întretaie, iar în interiorul acestor cercuri este indicată conexiunea înfăşurării respective (tab. 6.4).

Tabelul 6.4

Materiale de presare termorigide şi termoplaste

Denumirea transformatorului	Semnul convenţional	
	detaliat	simplificat
Transformator monofazat		
Transformator trifazat avînd conexiunea stea-triunghi şi cu neutrul scos de la stea		
Transformator trifazat avînd conexiunea stea-zigzag, cu neutrul scos de la zigzag.		

I. TRANSFORMATOARE MICI

1. TIPURILE ŞI CARACTERISTICILE TRANSFORMATOARELOR MICI

Această grupă cuprinde transformatoarele uscate, monofazate şi trifazate cu puteri nominale între 16 VA şi 10 kVA. Printre acestea, cele mai importante tipuri sînt:

— *transformatorul de separare*, care alimentează un singur consumator cu o tensiune avînd valoarea aproximativ egală cu cea a tensiunii reţelei şi realizînd ca măsură de protecţie separarea electrică a consumatorului de reţea;

— *transformatorul de comandă*, care are o înfăşurare primară şi una sau mai multe înfăşurări secundare, separate între ele, destinat alimentării circuitelor de comandă ale instalaţiilor electrice de automatizare şi care realizează separarea electrică a circuitelor de comandă faţă de reţea

— *transformatorul de alimentare,* destinat racordării la rețea a receptoarelor, amplificatoarelor, aparatelor de telecomunicație, redresoarelor etc. El are una sau mai multe înfășurări secundare, dintre care una poate fi pentru o tensiune mai mare decît cea a rețelei;

— *transformatorul de izolare,* folosit pentru transmisia de energie între rețea și un aparat avînd potențiale foarte diferite, tensiunea de izolare fiind determinată nu numai de tensiunea nominală a transformatorului (de exemplu, transformator pentru tuburi Röntgen);

— *transformatoare de siguranță,* pentru racordarea la rețea a unor consumatori mici (unelte de mînă, lămpi portabile, aparate medicale etc.) cu o tensiune joasă, ca măsură împotriva tensiunii de atingere periculoase. La transformatoarele monofazate tensiunea secundară nu depășește 50V, iar la transformatoarele trifazate 34 V (între fază și nul).

Din punctul de vedere al protecției împotriva tensiunilor de atingere periculoase, transformatoarele mici se clasifică în:

— *transformatoarele de clasa I de protecție,* care au cel puțin o izolație funcțională (izolația între înfășurări și între înfășurări și miez), o bornă pentru legarea la nulul de protecție și o bornă pentru legarea la pămînt;

— *transformatoare de clasa a II-a de protecție,* care au părțile metalice accesibile, dacă există, separate de părțile care pot fi puse sub tensiune în cazul unui defect al izolației funcționale (de exemplu, miezul) printr-o izolație suplimentară numită izolație de protecție.

2. CONSTRUCȚIA TRANSFORMATOARELOR MICI

Circuitele magnetice utilizate sînt de două tipuri:

— împachetate din tole;

— rulate din benzi.

Circuitele magnetice împachetate se pot realiza:

— împachetate țesut din tole dreptunghiulare (tole I), la fel ca la paragraful F 2;

— împachetate țesut dintr-o combinație de tole profil E, U, I, L, ca în figura 6.80;

— prin împachetarea tolelor E și U realizînd coloanele și o parte din juguri și împachetarea separată a tolelor I, realizînd jugul superior aplicat. Aceste circuite magnetice se numesc *circuite magnetice cu întrefier* (fig. 6.81);

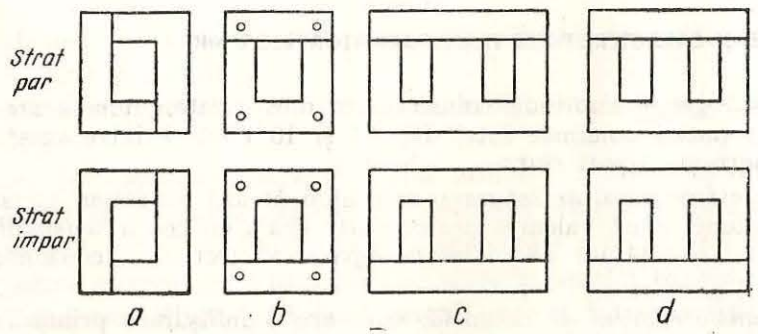


Fig. 6.80. Împachetarea țesută a circuitelor magnetice mici:
a — monofazat cu coloane din tole L; *b* — monofazat cu coloane din tole U și I; *c* — monofazat în manta din tole E, și I; *d* — trifazat cu coloane din tole E, și I.

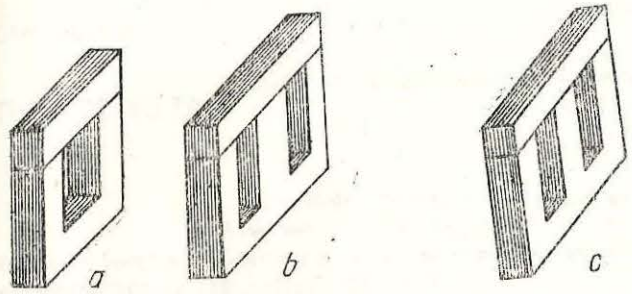


Fig. 6.81. Circuit magnetic cu întrefier (cu jug aplicat):
a — monofazat cu coloane; *b* — monofazat în manta; *c* — trifazat cu coloane.

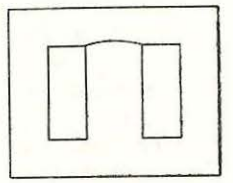


Fig. 6.82. Tolă completă de miez monofazat în manta.

— împachetate țesut din tole complete avînd forma din figura 6.82 (pentru circuit magnetic monofazat în manta). Tola are atît coloana, cît și jugurile laterale, însă coloana este decupată într-o parte, pentru a permite îndoirea și introducerea ei în golul carcasei izolante pe care se află înfășurarea.

Strîngerea miezurilor se face fie prin șuruburi, dacă tolele au prevăzute găuri, fie prin lipire cu rășini epoxidice.

Circuitele magnetice rulate se realizează prin rularea benzilor de oțel electrotehnic sub formă toroidală (fig. 6.83, *a*) sau dreptunghiulară (fig. 6.83, *b*) și lipirea cu rășini epoxidice.

Înfășurările pentru aceste miezuri se deapănă direct pe miez, cu mașini speciale de bobinat toroidal.

Înfășurările se pot introduce ușor pe circuite magnetice rulate, dacă acestea se divizează prin tăiere după lipire (fig. 6.84, *a*). Prin împerecherea a două astfel de miezuri se realizează un circuit magnetic în manta (fig. 6.84, *b*).

Înfășurările pentru transformatoare mici se realizează de regulă pe carcase izolante, așa cum s-a arătat la capitolul 4.

La transformatoarele de siguranță izolația este întărită și eventual se prevăd ecrane de protecție între înfășurări (ecrane din tablă subțire de cupru îndoită în formă de cilindru neînchis și legat la masă) sau se montează înfășurările cap la cap pe coloană, fiind mai ușor de izolat.

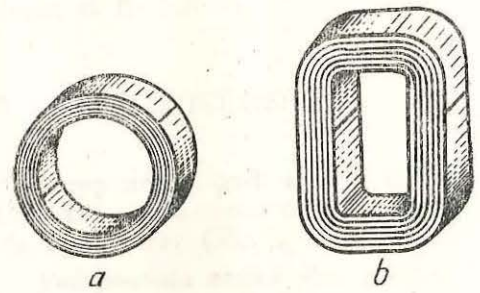


Fig. 6.83. Circuit magnetic rulat:
— toroidal — dreptunghiular.

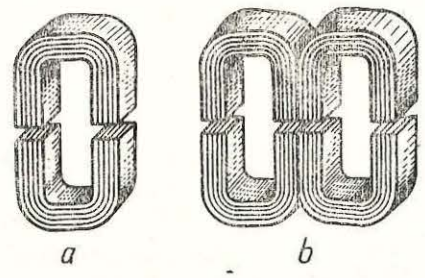


Fig. 6.84. Circuit magnetic rulat și divizat:
a — monofazat cu coloane; *b* — monofazat în manta.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. *Care sînt tipurile principale de mașini electrice în funcție de:*
   — *rolul lor în transformarea de energie;*
   — *curentul electric utilizat;*
   — *destinație?*
2. *Enumerați caracteristicile nominale ale mașinilor electrice.*
3. *Care sînt părțile componente principale ale mașinilor electrice?*
4. *Arătați diferențele constructive ale miezurilor magnetice pentru diferite tipuri de mașini electrice.*
5. *Care sînt elementele constructive ale înfășurărilor și principalele tipuri de înfășurări?*
6. *Descrieți construcția bobinelor polare, a înfășurărilor repartizate și a înfășurărilor în scurtcircuit.*
7. *Care sînt tipurile principale de transformatoare și părțile componente principale?*
8. *Descrieți construcția miezurilor magnetice pentru transformarea și construcția principalelor tipuri de înfășurări pentru transformatoare.*
9. *Care sînt semnele convenționale pentru mașini electrice și transformatoare?*

CAPITOLUL 7

TERMOBIMETALE

A. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Termobimetalele sînt elemente foarte larg utilizate în construcția aparatelor electrice, pentru sesizarea unei temperaturi sau pentru protecția la suprasarcină a unor receptoare electrice, în principal motoare electrice. Această protecție este bazată pe încălzirea bimetalului datorită curentului electric.

Bimetalul este format din două metale sau aliaje cu coeficienți de dilatare cît mai diferiți, sudate între ele și laminate împreună sub forma unor table sau benzi suprapuse, de diferite dimensiuni.

Dacă o lamelă bimetalică este încălzită, stratul avînd coeficientul de dilatare mai mare se va alungi mai mult decît celălalt strat și lamela se va încovoia spre stratul cu coeficient de dilatare mai mic (fig. 7.1).

Prin încovoierea sa, lamela acționează asupra unui contact sau asupra mecanismului unui aparat, producînd o anumită funcțiune a acestuia — de obicei o comutare a unor contacte sau declanșarea aparatului.

Pentru a se obține o încovoiere specifică (încovoierea pentru variația temperaturii cu 1 K) cît mai mare este necesar ca diferența dintre coeficienții de dilatare ai celor două straturi să fie cît mai mare. Este necesar de asemenea ca săgeata specifică să fie constantă într-un domeniu de temperatură cît mai larg. Prin funcționarea sa, bimetalul trebuie să fie rezistent și la temperaturi ridicate, adică componentele să nu se desfacă și oxidarea să fie redusă.

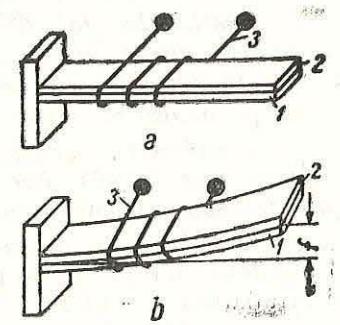


Fig. 7.1. Modul de funcționare a unui termobimetal:
a — bimetal rece; *b* — bimetal deformat după încălzire; *1* — strat cu coeficient de dilatare mare; *2* — strat cu coeficient de dilatare mic; *3* — înfășurarea de încălzire; *f* — săgeata.

B. MATERIALE FOLOSITE

Componenta pasivă (cea avînd coeficientul de dilatare redus) este făcută în multe cazuri din aliaj de fier cu nichel cu conținut mare de nichel de tipul invar (36,1% Ni + 63,1% Fe+0,4% Mn + 0,4% Cu).

Componenta activă este realizată din diferite metale sau aliaje, dintre care cele mai folosite sînt: alamă, constantan, oțel, nichel sau aliaj 35% Ni + 53% Fe + 5% Mo.

Proprietățile cîtorva bimetale utilizate frecvent sînt indicate în tabelul 7.1.

Tabelul 7.1

Termobimetale

Nr. crt.	Tipul	Rezistența specifică 10^{-4} Ω cm	Săgeata specifică 10^{-4} 1/K	Domeniul de utilizare	Modulul de elasticitate daN/mm²
1	TB 155	0,78	0,855	−20...+250 °C	16 000
2	TB 1577	0,77	0,155	−20...+250 °C	17 000
3	TB 145	0,11	0,145	−20...+250 °C	16 500
4	S 35	0,35	0,148	−20...+200 °C	17 000

C. TIPURI DE BIMETALE

Cele mai utilizate forme de bimetale sînt:

— *bimetale lamelare drepte* (fig. 7.2, a_1);

— *bimetale lamelare în formă de U* (fig. 7.2, a_2);

— *bimetale în formă de disc*, avînd proprietatea de a sări brusc dintr-o poziție în alta (fig. 7.2, *b*).

După modul de încălzire a bimetalului se deosebesc:

— *termobimetalele cu încălzire directă*, încălzite prin trecerea curentului electric prin lamelă. Acest curent poate fi curentul absorbit de motorul protejat sau unul proporțional cu acesta;

— *termobimetale cu încălzire indirectă*, la care căldura provine de la o rezistență înfășurată pe lamela bimetalului sau așezată alături de lamelă și străbătută de curent;

— *termobimetale cu încălzire mixtă*, la care curentul trece și prin lamelă și prin rezistență.

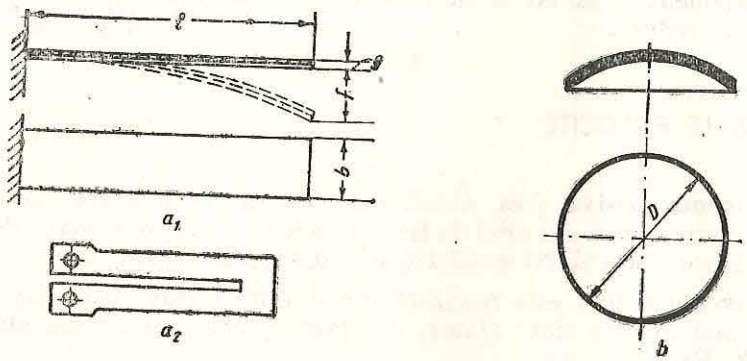


Fig. 7.2. Termobimetale și forme constructive:
a — lamelare; *b* — în formă de disc.

D. EXPLOATAREA ELEMENTELOR BIMETALICE

Elementele bimetalice sînt utilizate în termostate, întreruptoare automate, relee, sesizoare de flacără sau de incendiu.

În funcționarea lor pot apărea două cazuri:

— bimetale reglabile în exploatare, așa cum este cazul la blocurile de relee termice pentru protecția motoarelor, sau la întreruptoarele automate;

— bimetale nereglabile în exploatare, cu punct fix de funcționare.

În primul caz trebuie avut în vedere acest reglaj încă de la punerea în funcțiune, astfel încît valoarea reglată să corespundă curentului absorbit de motorul protejat.

În general elementele bimetalice sînt elemente robuste, dar nu se pot repara în exploatare. De aceea, valoarea curentului care le străbate sau temperatura lor trebuie să nu fie mult mai mari decît cele pentru care au fost construite.

În unele cazuri se pot înlocui cu altele, furnizate ca piese de schimb.

VERIFICAREA CUNOȘTINȚELOR

1. *Ce materiale se folosesc pentru confecționarea termobimetalelor?*
2. *În cîte moduri pot fi încălzite termobimetalele?*

CAPITOLUL 8

IZOLATOARE ŞI PIESE IZOLANTE

A. GENERALITĂŢI

Izolatoarele şi piesele izolante servesc în construcţia aparatelor electrice în special la susţinerea mecanică şi izolarea electrică a căilor de curent.

În construcţia aparatelor de înaltă tensiune se folosesc *izolatoare suport* (fig. 8.1), *de trecere* (fig. 8.2) şi *carcasă* (fig. 8.3).

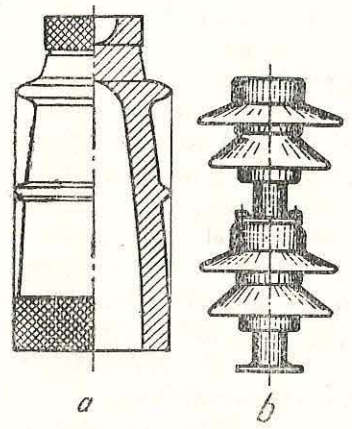


Fig. 8.1. Izolatoare suport:
a — de interior; *b* — de exterior.

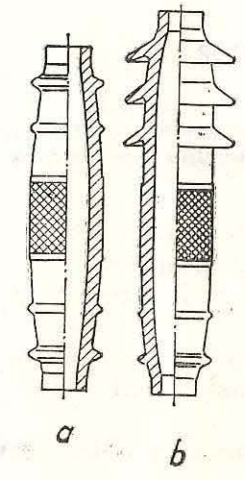


Fig. 8.2. Izolatoare de trecere:
a — tip interior; *b* — tip interior-exterior.

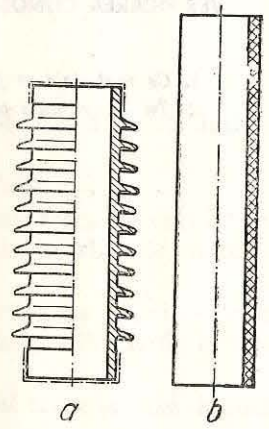


Fig. 8.3. Izolatoare carcasă:
a — pentru întreruptoare automate; *b* — pentru siguranţe.

Piesele izolante sînt *socluri* şi *suporţi, capace, camere de stingere, butoane, manete, pîrghii, bucşe, garnituri* etc.

B. MATERIALE FOLOSITE

Izolatoarele se execută din porţelan, materiale ceramice aluminoase cu proprietăţi similare, sau răşini de turnare (epoxidice).

Piesele izolante se execută din diferite materiale adecvate (ceramice, plastice).

1. MATERIALE CERAMICE

Materialele ceramice sînt:

— *porţelan presat* — pentru piesele siguranţelor de joasă tensiune;

— *steatit* — pentru piesele întreruptoarelor şi comutatoarelor folosite la aparatele electrocalorice;

— *termoceramit* — pentru camere de stingere, suporţi de rezistenţă, siguranţe cu mare putere de rupere.

Materialele ceramice au caracteristici izolante deosebit de bune şi sînt foarte stabile în timp. Ele rezistă în bune condiţii la solicitări termice ridicate.

2. MATERIALE PLASTICE

Materialele plastice termorigide sînt:

— *bachelita, melamina cu umplutură organică* făină de lemn), pentru piese fără solicitări mecanice sau termice deosebite; cu umplutură anorganică (mică, azbest, vicamit), pentru piese cu solicitări termice deosebite;

— *poliesterii cu fibre de sticlă*, pentru piese cu solicitări mecanice, termice şi la arc electric;

— *aminoplastele*, pentru piese supuse acţiunii arcului electric de mică intensitate şi pentru capacele aparatelor de instalaţii.

Materialele plastice termorigide se realizează relativ uşor prin presarea materialelor sub formă de pulbere sau granule în scule de presare, în care golurile respective au forma piesei izolante. Prin presare şi încălzire materialul se lichefiază, umple golul matriţei şi prin policondensare se întăreşte, realizînd piesa. Această tehnologie asigură o fabricaţie de mare serie cu costuri reduse şi din această cauză se utilizează foarte mult în special în aparate de joasă tensiune, inclusiv pentru realizarea cutiilor de protecţie, manetelor, butoanelor etc. Pot fi colorate diferit.

Materialele plastice termoplaste

— *Policlorura de vinil (PVC), acrilonitrilbutadienstiren (ABS), pentru* carcase de prize industriale şi alte piese exterioare (piesele executate din unele varietăţi de ABS se pot metaliza);

— *polietilena de înaltă presiune*, pentru dopuri, stuţuri, garnituri, piese elastice uşor deformabile:

— *poliestirenul, policarbonaţii, polimetacrilatul de metil (plexiglass)* pentru capace transparente;

— *poliamidele* (relon, nylon, acetat de celuloză), pentru piese cu solicitări mecanice şi la şoc.

Materialele termoplaste se realizează asemănător celor termorigide, dar întărirea materialului se face prin răcire. Spre deosebire de cele termorigide materialul se înmoaie de cîte ori se încălzeşte peste o anumită temperatură.

Piesele se realizează repede şi pot avea diferite culori sau uneori sînt transparente.

Caracteristicile principalelor materiale izolante sînt indicate în tabelul 8.1.

Tabelul 8.1

Materiale de presare termorigide şi termoplaste

Nr. crt.	Denumirea	Răşină şi material de umplere	Rezistenţa termică °C	Rezistenţa la încovoiere daN/cm²	Exemple utilizate	Observaţii
1	Bachelită electrotehnică	Fenolice făini minerale	140	500	Piese diverse aparate	termorigide
2	Fenocord	Fenolică fibră textilă	110	700	Piese de rezistenţă mecanică	
3	Termoplast	Formaldehidică fibră celuloză	110	500	Piese de aspect şi rezistenţă la arc	
4	Demilan	Formaldehidică fibră asbest	140	800	Camere de stingere	termoplaste
5	Polistiren		80	530	Piese diverse colorate şi transparente	
6	Relon		100	900	Piese rezistente	
7	Policarbonat		150	900	Piese rezistente mecanic şi termic	

C. ÎNTREŢINEREA ŞI REPARAREA IZOLATOARELOR

Curăţarea izolaţiei instalaţiei de înaltă tensiune este o operaţie importantă. Intensitatea prăfuirii şi periodicitatea curăţirilor izolaţiei depind atît de atmosfera înconjurătoare, cît şi de caracteristicile combustibilului centralei. Pentru instalaţiile de distribuţie montate în încăperi au o mare însemnătate particularităţile de construcţie ale clădirii. Prin astuparea tuturor găurilor de la uşi şi ferestre şi în special prin renunţarea la lumina naturală, se poate reduce simţitor prăfuirea. În aceste cazuri se creează însă condiţii necorespunzătoare pentru îndrepărtarea căldurii cedate de părţile conducătoare de electricitate ale aparatelor. De aceea, în localităţile cu aer conţinînd mult praf se asigură o ventilaţie specială, cu o curăţare prealabilă a aerului prin trecerea lui prin filtre.

Pe lîngă aceasta se iau măsuri de curăţare periodică a izolaţiei. După ce s-a deconectat instalaţia, izolaţia se poate curăţa prin ştergerea cu o cîrpă uscată sau înmuiată în puţin ulei de transformator. Curăţarea izolaţiei se poate face şi cu aspiratorul de praf, fără a se deconecta instalaţia. Pentru efectuarea lucrărilor fără pericol trebuie ca vîrfurile şi ţevile aspiratorului să fie făcute din material izolant, la fel ca şi mînerul de prindere al aparatului.

La instalaţiile de înaltă tensiune, în cazul unei murdăriri şi prăfuiri exagerate, curăţarea izolaţiei se execută prin spălare cu apă sub presiune. Apa trebuie să aibă o rigiditate dielectrică de minimum 2 000 V/cm. Cel ce face spălarea trebuie să fie îmbrăcat în costum de protecţie de cauciuc, pentru a se împiedica scurgerea curentului electric prin jetul de apă şi corpul omenesc la pămînt. Spălarea începe cu partea de jos a lanţului de izolatoare sau a coloanei. Indiciul curăţirii izolaţiei este modificarea nuanţei efectului corona, care apare în apropierea izolatorului ud; la începutul spălării efectul corona are o nuanţă roşiatică aprinsă, care pe măsura curăţirii, devine violetă şi mai stinsă. În cazul spălării în sens invers, de sus în jos, peste murdăria de pe partea inferioară se suprapune şi murdăria de pe partea superioară, putînd avea loc conturnări ale izolaţiei.

Se atrage atenţia că la curăţarea izolaţiei prin spălare, apa stropeşte şi alte părţi ale instalaţiei şi se micşorează rigiditatea dielectrică a intregii instalaţii, deci manevrarea trebuie să se facă cu o deosebită grijă.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. *Ce sînt materialele izolante termorigide şi cum se realizează?*
2. *Ce sînt materialele termoplaste şi ce proprietăţi au?*
3. *Cîte tipuri de izolatoare se cunosc?*
4. *Din ce materiale se fac camerele de stingere?*

CAPITOLUL 9

ELECTROMAGNEȚI

A. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE. CONSTRUCȚIA

Electromagneții sînt dispozitive care sînt larg utilizate în construcția aparatelor electrice în următoarele scopuri:

— elemente de acționare a contactelor electrice (cum este cazul contactelor electromagnetice);

— elemente de acționare pentru anclanșarea și declanșarea întreruptoarelor automate;

— elemente de comandă a diverselor sisteme acolo unde este nevoie să se provoace de la distanță acțiunea unei forțe sau unui moment de forțe;

— elemente traductoare de curent sau tensiune cum sînt declanșatoarele și releele electromagnetice de scurtcircuit, de tensiune nulă și altele.

Electromagneții transformă energia cîmpului magnetic în energie mecanică prin atragerea unei armături mobile.

Un electromagnet (fig. 9.1) este format dintr-o *armătură fixă* (denumită și *miez fix*) pe care se află o bobină și o *armătură mobilă* situate la o anumită distanță de armătura fixă. Spațiul de aer care se află între armătura fixă și cea mobilă se numește *întrefier*.

Trecerea unui curent electric prin bobină dă naștere unui flux magnetic Φ care produce atragerea armăturii mobile spre armătura fixă.

Armătura fixă și cea mobilă sînt realizate din oțel moale sau din aliaje ale fierului cu alte metale cu proprietăți magnetice, cum sînt nichelul și cobaltul.

Piesele feromagnetice și spațiile de aer δ străbătute de fluxul magnetic alcătuiesc *circuitul magnetic*.

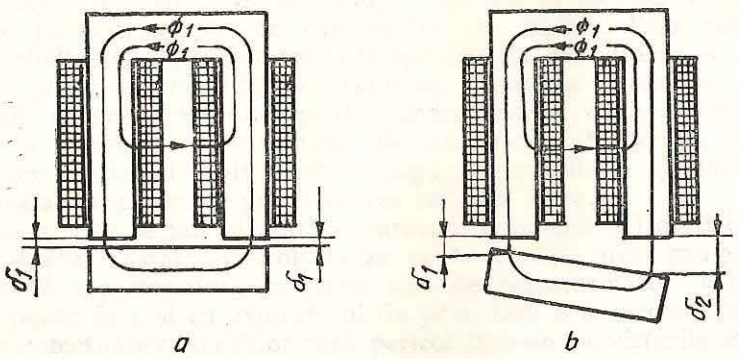


Fig. 9.1. Electromagneți:
a — cu mișcare de translație; *b* — cu mișcare de rota

B. FORME ȘI CARACTERISTICI FUNCȚIONALE

După natura tensiunii care se aplică bobinei, electromagneții pot fi de curent continuu sau de curent alternativ.

Electromagneții de curent continuu sînt de diferite forme.

În funcție de forma armăturii fixe și a celei mobile, variația forței de atracție funcție de întrefier este indicată în figura 9.2. Această variație se numește *caracteristica de funcționare*.

Tipul de electromagnet se alege în funcție de valoarea forței rezistente.

Electromagneții de curent continuu se realizează din profile de fier sau de aliaj de fier masiv. Forma dorită a armăturii fixe sau mobile se realizează prin prelucrare la mașini-unelte. Se urmărește ca fețele polare să fie bine prelucrate. Pentru a se evita ca armătura mobilă să rămînă lipită pe armătura fixă după întreruperea curentului din bobină datorită remanenței magnetice este necesar ca între armătura fixă și cea mobilă să rămînă un întrefier fix permanent.

Electromagneții de curent alternativ monofazați au două elemente constructive care îi deosebesc de cei de curent continuu.

Primul element presupune *armătura fixă și cea mobilă* realizate din piese *din tablă subțire* (0,35—1 mm) din aliaj de fier cu siliciu, *în scopul micșorării curenților turbionari* care apar datorită fluxului magnetic variabil produs de curentul alternativ.

Al doilea element este destinat *să atenueze vibrația armăturii mobile*, datorate faptului că forța de atracție nu este constantă ci pulsatorie (fig. 9.3), trecînd prin zero de 100 de ori pe secundă. Pentru ca forța de atracție să nu mai treacă prin zero se folosește un inel de cupru, alamă sau aluminiu denumit *spiră* în *scurtcircuit* sau *spiră ecran*, care se montează pe o por-

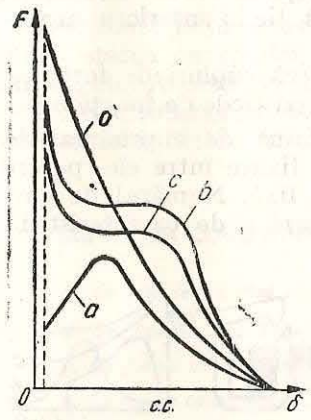


Fig. 9.2. Caracteristica $F=f(\delta)$ pentru electromagneți de curent continuu:
a — solenoid deschis; *b* — solenoid cu cap plan; *c* — solenoid cu cap conic; *d* — clapetă.

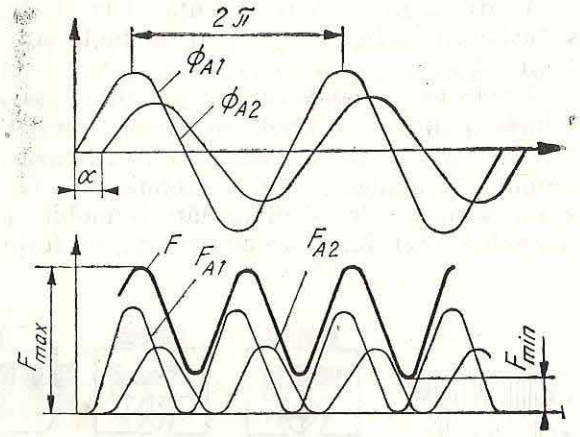


Fig. 9.3. Forța electromagneților de curent alternativ monofazat.

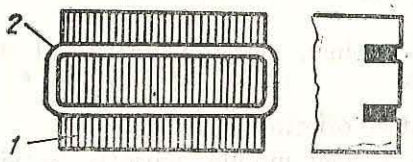


Fig. 9.4. Faţa polară cu spira în scurtcircuit pentru electromagneţi monofazaţi de curent alternativ:
1 — tolele miezului; *2* — spira în scurtcircuit.

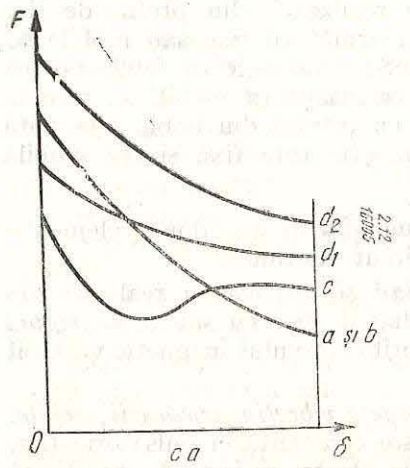


Fig. 9.5. Caracteristica $F=f(\delta)$ pentru electromagneţi de curent alternativ:
a — tip U; *b* — tip E monofazat; *c* — tip E bifazat; d_1 şi d_2 — tip T.

ţiune a feţei polare (fig. 9.4). Aceasta face ca fluxul magnetic care trece prin suprafaţa delimitată de ea Φ_{A_2} să fie decalat faţă de fluxul care trece prin suprafaţa necuprinsă Φ_{A_1} (v. fig. 9.3.) Rezultă două forţe decalate F_{A_1} şi F_{A_2} care se compun dînd o forţă rezultantă F, care este tot variabilă, dar între o valoare minimă F_{min} şi o valoare maximă F_{max}. Dacă forţa rezultantă este la nivelul forţei minime vibraţiile sînt mult atenuate.

Caracteristicile de funcţionare sînt reprezentate în figura 9.5.

Pentru buna funcţionare a electromagneţilor de curent alternativ este foarte importantă fixarea tolelor (piesele din tablă subţire care formează pachetul armăturii fixe şi mobile) între ele, pentru ca la şocul armăturii mobile să nu se mişte una faţă de cealaltă. Fixarea se face prin nituri care trebuie să fie foarte bine presate pe pachetul de tole bine strîns. Această operaţie se realizează de obicei la presa hidraulică.

De asemenea, trebuie să fie bine fixată şi spira în scurtcircuit (fig. 9.6). Fixarea ei se realizează prin presare în canal şi, în unele cazuri, prin lipire cu materiale adezive speciale (epoxidice).

Pentru a se evita remanenţa, şi la electromagneţii de curent alternativ se lasă un întrefier mic permanent fie la faţa polară, fie în interiorul armăturii fixe.

Unele forme constructive permit ca să se obţină cupluri de forţă ca cele din figura 9.7, care arată de asemenea şi caracteristicile de funcţionare.

Bobinele electromagneţilor se realizează din sîrmă de cupru (rar de aluminiu) emailată, spirele trebuie să fie bine fixate între ele, pentru a nu se mişca la şocul armăturii mobile pe cea fixă. Numărul de spire depinde de tensiunea de alimentare, de forţa necesară şi de caracteristicile

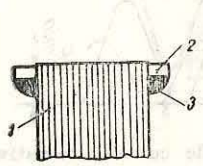


Fig. 9.6. Fixarea spirei în scurtcircuit:
1 — tolele miezului; *2* — spiră în scurtcircuit; *3* — răşină epoxidică.

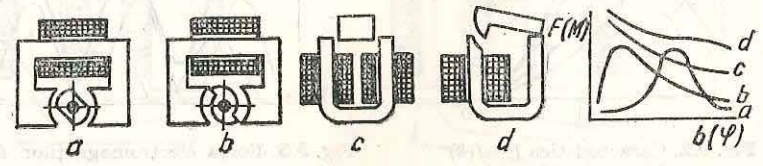


Fig. 9.7. Caracteristica $M=f(\varphi)$ pentru electromagneţi de curent alternativ monofazaţi cu mişcare de rotaţie:
a — cu rotor simplu; *b* — cu rotor profilat; *c* — tip U; *d* — clapetă cu întrefier radial.

armăturilor magnetice. În general, bobinele de curent continuu au spire mai multe decît cele de curent alternativ.

La electromagneţii de curent continuu curentul absorbit este constant, independent de mărimea întrefierului. La cei de curent alternativ curentul absorbit variază foarte mult cu mărimea întrefierului, crescînd foarte mult cu aceasta. Din această cauză, bobina unui electromagnet de curent alternativ care nu se închide se arde foarte repede.

Pentru a se micşora curentul absorbit în poziţia atras, la electromagneţii de curent continuu se include, prin intermediul unui contact, o rezistenţă în serie cu bobina, pe ultima porţiune a cursei.

La întreruperea curentului bobinei, la electromagneţii de curent continuu apar supratensiuni în circuitul de alimentare. Pentru evitarea acestora se leagă în paralel cu bobina o rezistenţă, o diodă redresoare sau un condensator.

C. ÎNTREŢINEREA

La montarea şi punerea în funcţiune a electromagneţilor trebuie verificată corespondenţa tensiunii de alimentare cu tensiunea bobinei electromagnetului. Această tensiune poate fi citită fie pe eticheta electromagnetului, fie pe eticheta bobinei.

Dacă este posibil se verifică şi corespondenţa forţei rezistente cu forţa electromagnetului.

Se va avea grijă ca fixarea armăturii mobile a electromagnetului să se facă cu oarecare joc, care să-i permită o autoaşezare. Acest lucru este important în special la electromagneţii de curent alternativ, la care o aşezare necorespunzătoare provoacă apariţia vibraţiilor puternice.

Bobinele care se ard trebuie schimbate cu bobine procurate de la întreprinderea producătoare ca piese de schimb. Ele se pot executa şi în ateliere specializate, dacă se cunoaşte diametrul conductorului şi numărul de spire.

Electromagneţii necesită o întreţinere simplă. Trebuie controlată periodic numai starea curăţeniei suprafeţei polare pe care se poate depune praf, pilitură etc. Aceasta se şterge cu un solvent şi se face remontarea.

La electromagneţii de curent alternativ trebuie avută în vedere menţinerea poziţiei iniţiale a miezurilor cu spira în scurtcircuit.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. *De cîte feluri sînt electromagneţii?*
2. *Ce funcţii pot îndeplini electromagneţii?*
3. *Ce forme constructive au electromagneţii de curent continuu?*
4. *Ce forme constructive au electromagneţii de curent alternativ?*
5. *De ce se folosesc tole la construcţia miezurilor electromagneţilor de curent alternativ?*
6. *Care este rolul spirei în scurtcircuit?*

CAPITOLUL 10

APARATE DE COMUTAȚIE ÎN INSTALAȚIILE DE JOASĂ TENSIUNE

A. ROLUL ȘI IMPORTANȚA APARATELOR ELECTRICE

În cadrul acestui capitol sînt tratate aparatele electrice de comutație (conectare și deconectare) și aparatele electrice de protecție, utilizate în domeniul producerii, transportului și distribuției energiei electrice.

Ele se găsesc în numeroase variante constructive și funcționale în toate instalațiile electrice, îndeplinind, în circuitele dintre sursele de energie și receptoare, funcții de deosebită importanță:

— închiderea, deschiderea sau comutarea circuitelor electrice;

— supravegherea și protecția instalațiilor și receptoarelor (împotriva suprasarcinilor, scurtcircuitelor, supratensiunilor etc.).

Datorită funcțiilor principale menționate este evident că funcționarea aparatelor electrice este legată de procesele tranzitorii care apar în circuitul electric în care ele sînt montate.

În timpul acestora pot să apară efecte importante datorită variației curenților și tensiunilor, așa cum sînt, de exemplu, eforturi electrodinamice între căile de curent și supratensiuni care solicită puternic izolația.

Rezultă următoarele calități principale care trebuie îndeplinite de aparatele electrice:

— *siguranță în funcționare (fiabilitate), precizie și stabilitate în funcționare.* De-a lungul unui anumit interval de timp aparatul trebuie să nu dea defecțiuni în funcționare și să nu-și schimbe parametrii funcționali;

— *stabilitate termică și dinamică la curenți de durată și accidentali:*

— *un nivel de izolație suficient,* care să reziste atît tensiunilor nominale și supratensiunilor, cît și înrăutățirii calităților pieselor izolante datorită funcționării timp îndelungat sub tensiune sau poluării suprafețelor cu praf, umiditate sau particule conductoare;

— *dimensiuni și greutate cît mai reduse,* pentru economie de spațiu și de materiale atît la fabricarea lor, cît și la locurile de montaj.

B. CLASIFICAREA APARATELOR ELECTRICE

După funcția pe care o îndeplinesc și după principiul de construcție aparatele electrice pot fi clasificate în următoarele categorii principale:

— *aparate de conectare (de comutație),* care întrerup și restabilesc circuitele electrice:

— separatoare;
— separatoare de sarcină;
— întreruptoare;
— întreruptoare automatie;
— contactoare și ruptoare;
— contactoare cu relee.

— *aparate pentru instalații interioare,* utilizate în special pentru distribuția energiei electrice în clădire:

— întreruptoare și comutatoare;
— prize, fișe și cuple;
— *aparate de protecție:*
— siguranțe:
— relee;
— eclatoare și descărcătoare;
— *aparate pentru pornirea și reglarea mașinilor electrice:*
— reostate de pornire și excitație;
— comutatoare stea-triunghi;
— inversoare de sens;
— controlere;
— *aparate pentru acționări* (elemente de automatizare):
— butoane de comandă, manipulatoare, selectoare;
— microîntreruptoare;
— limitatoare.

C. MĂRIMILE CARACTERISTICE PRINCIPALE ALE APARATELOR ELECTRICE

Fiecare aparat electric este definit printr-o serie de mărimi caracteristice, care dau informații asupra funcțiilor sale și condițiilor în care poate fi utilizat în deplină siguranță în exploatare.

Principalele mărimi caracteristice, reprezentînd și criterii de clasificare, sînt: *numărul de poli, felul curentului, tensiunea* și *curentul nominal* etc.

Ne vom opri asupra cîtorva caracteristici mai importante.

Tensiunile nominale. Se deosebesc: tensiunea nominală de *izolare,* tensiunea nominală *de utilizare* legată de diferite tensiuni de utilizare și tensiunea nominală *de comandă* pentru care este dimensionat dispozitivul de comandă a aparatului. Cele mai mari tensiuni de utilizare și de comandă nu pot depăși valoarea tensiunii nominale de izolare.

Tensiunea nominală de izolare este tensiunea maximă pentru care este dimensionată izolația aparatului și la care se referă toate încercările privitoare la izolația aparatului.

Tensiunea nominală de utilizare este tensiunea la care sînt indicate unele caracteristici ale aparatului care depind de tensiune așa cum este, de exemplu, curentul maxim pe care aparatul îl poate întrerupe (capacitatea de rupere). De exemplu, un contactor poate avea tensiunea de izolare de 660 V, tensiunea nominală de utilizare de 500 V, și tensiunea nominală de comandă de 220 V.

Pentru circuitele polifazate, tensiunea de utilizare și tensiunea de izolare se exprimă prin tensiunea între faze.

Tensiunile nominale de izolare standardizate sînt:

— pentru aparatele de joasă tensiune:
60, 250, 380, 500, 660, 800, 1 000 V c.a.
60, 250, 440, 600, 800, 1 200 V cc.
— pentru aparatele de înaltă tensiune:
6, 10, 20, 110, 220, 430, 765 kV.

— Tensiunile nominale de utilizare standardizate sînt:
24, 36, 48 (42), 60, 110 (127), 220 sau 250, 380, 440, 500, 660, 750, 1 000 V c.a.
— 24, 48, 60, 110 (120) (127), sau 250, 440, 4600, 800, 1 200 V c.c.

Curenţii nominali. Se deosebesc: curentul *nominal termic* pe care aparatul îl poate suporta timp de 8 h fără ca încălzirea diferitelor sale părţi să depăşească limitele admisibile şi curentul *nominal de utilizare*, stabilit de constructor în funcţie de tensiunea nominală de utilizare şi de alţi parametri, cum ar fi de exemplu temperatura mediului ambiant în care lucrează aparatul.

Curenţii nominali: termici standardizaţi pentru aparatele de joasă tensiune sînt: 2; 2,5; 3,15; 4(5); 6,3; (8); (12,5); 16; 20; 25; 31,5; (50); 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400 (500); 630; 800; 1 000; 1 250; 1 600; 2 000; 2 500; 3 150; 4 000 A.

Capacitatea de comutaţie. La aparatele de joasă tensiune capacitatea de comutaţie se exprimă prin *curentul de rupere*, cel mai mare curent pe care aparatul este capabil să îl întrerupă sub o tensiune dată şi prin *curentul de închidere*, cel mai mare curent pe care aparatul îl poate stabili sub o tensiune dată. Se dau în valori efective.

La aparatele de înaltă tensiune se folosesc noţiunile de *putere de rupere:*

$$P_r = \sqrt{3}\, U_n I_r \quad [\text{MVA}] \tag{10.1}$$

şi *putere de închidere:*

$$P_i = \sqrt{3}\, U_n I_i \quad [\text{MVA}], \tag{10.2}$$

unde:

U_n este tensiunea nominală, în kV;
I_r — curentul de rupere, în kA;
I_i — curentul de închidere, în kA.

Serviciile de utilizare definesc modul de funcţionare al aparatelor în funcţie de rolul lor în circuitul electric. De acest mod de utilizare depind o serie de parametri constructivi ai aparatelor, cum sînt secţiunile căilor de curent, mărimea electromagneţilor etc.

Principalele servicii nominale standardizate sînt:

Serviciul continuu (de durată) este cel în care contactele principale ale aparatului sînt străbătute de curent fără întrerupere, un interval de timp mai mare de 8 h.

Serviciul intermitent care este caracterizat printr-o succesiune atît de frecvenţa de conectări şi deconectări, încît în timpul în care aparatul este închis el nu atinge temperatura maximă, iar în timpul în care este întrerupt nu atinge temperatura ambiantă.

Serviciul de scurtă durată este serviciul în care contactele principale ale aparatului sînt străbătute de curent un timp insuficient de lung pentru a permite atingerea temperaturii maxime, dar timpul de întrerupere este suficient de lung pentru a permite atingerea temperaturii ambiante.

Frecvenţa de conectare este dată de relaţia:

$$f_c = \frac{3\,600}{t_c}, \tag{10.3}$$

în care: t_c este durata unui ciclu. Prin *ciclu* se înţelege o închidere şi o deschidere a aparatului.

Durata relativă de conectare se calculează cu relaţia:

$$D_A = \frac{t_a}{t_c} \cdot 100 \ [\%], \tag{10.4}$$

în care durata unui ciclu este $t_c = t_a + t_p$ (unde t_a este timpul de lucru şi t_p — timpul de întrerupere).

D. SOLICITĂRI LA CARE SÎNT SUPUSE APARATELE ELECTRICE

În funcţionarea aparatelor, atît în condiţii normale de serviciu cît şi în caz de avarii, fiecare dintre elementele componente este supus unor anumite solicitări, la care trebuie să reziste în bune condiţii timp de circa 10 ani, fără a fi necesare alte intervenţii ale personalului de exploatare decît cele prevăzute a se face cu ocazia reviziilor periodice.

Aceste solicitări sînt:
— solicitarea electrică a izolaţiilor, provocată de existenţa tensiunii pe căile de curent;
— solicitarea termică a căilor de curent şi a pieselor învecinate acestora, ca urmare a trecerii curentului electric;
— solicitarea mecanică a căilor de curent şi a pieselor de susţinere a acestora, sub acţiunea forţelor electrodinamice provocate de curenţii de scurtcircuit;
— solicitările termice şi mecanice, provocate de arcul electric:
— uzura mecanică a pieselor în mişcare;
— solicitările provocate de acţiunea mediului în care lucrează aparatul (căldură, umezeală, vapori corozivi, praf, lovituri etc.).

1. SOLICITĂRI ELECTRICE

Solicitarea electrică este cea la care este supus un izolant electric atunci cînd două regiuni ale sale se află la potenţiale diferite (fig. 10.1).

Tensiunea U aplicată între cele două regiuni tinde să formeze o cale conductoare de curent fie prin străpungerea, fie prin conturnarea izolantului (se numeşte *străpungere* formarea unui canal conductor de electricitate prin interiorul unui izolant, solid, lichid sau gazos şi *conturnare* — formarea unui canal conductor pe suprafaţa unui izolant solid).

Pentru a se evita conturnarea sau străpungerea izolantului, aparatele electrice se încearcă bucată cu bucată la tensiuni mai mari decît tensiunea lor nominală de izolare U_n.

Aparatele de joasă tensiune cu $U_n = 500$ V şi 600 V se încearcă la 2 500—3 000 V.

Aparatele de înaltă tensiune cu $U_n \leqslant 35$ kV se încearcă la $U_i = 2U_n + 15$ kV, iar cele cu $U_n \geqslant 60$ kV se încearcă la $U_i = 2U_n + 20$ kV.

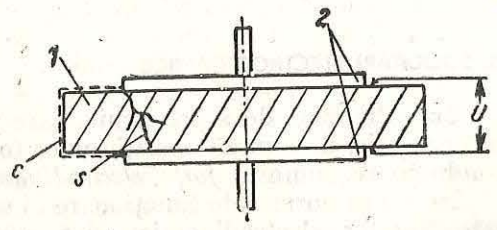


Fig. 10.1. Solicitarea electrică a unui izolant (reprezentare schematică):
1 — izolant; *2* — electrozi; *U* — tensiunea aplicată; *c* — linie de conturnare pe suprafaţa izolantului; *s* — linie de străpungere prin izolant.

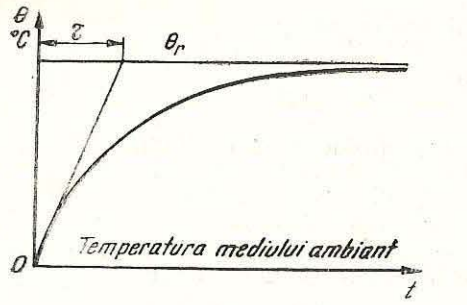


Fig. 10.2. Variaţia în timp a încălzirii unui conductor străbătut de curent.

2. SOLICITĂRI TERMICE

Trecerea curentului electric prin conductoare determină încălzirea acestora, încălzirile fiind deosebit de mari în locurile în care secţiunea căii de curent este redusă (contacte, siguranţe fuzibile) sau rezistivitatea acesteia este mai mare (bimetale, rezistenţe).

Încălzirea exagerată a pieselor nu poate fi admisă deoarece ea influenţează negativ proprietăţile izolante şi durata de serviciu a izolanţilor, rezistenţa mecanică a pieselor metalice, elasticitatea resorturilor etc., motiv pentru care temperaturile maxime admisibile sînt prescrise prin standarde.

Procesul de încălzire a căilor conductoare de curent se desfăşoară în paralel cu procesul de răcire a acestora prin transmiterea unei părţi a căldurii primite către piesele învecinate sau către mediul ambiant.

Transmiterea căldurii se realizează de regulă simultan prin *conducţie* (trecerea căldurii în interiorul corpurilor solide de la zonele calde la cele reci), prin *convecţie* (curenţi de fluid formaţi în lichide şi gaze datorită diferenţelor de temperatură) şi prin *radiaţie* (emisie de energie termică sub formă de unde electromagnetice).

Datorită răcirii, încălzirea în timp a conductorului ca urmare a acumulării puterii primite prin efect Joule-Lenz ($P_p = RI^2$) se desfăşoară în serviciul de durată după o curbă conform figurii 10.2, în care se observă cum creşterea temperaturii este din ce în ce mai lentă, obţinîndu-se după un anumit timp (teoretic infinit, dar practic egal cu cîteva minute pînă la cîteva ore, în funcţie de masa corpului) o stabilizare a temperaturii la o valoare maximă numită *temperatură de regim*.

Atingerea acestei valori corespunde momentului în care din puterea primită nu se mai acumulează nimic, ea fiind în întregime cedată mediului ambiant.

Valoarea τ din figura 10.2, obţinută la intersecţia tangentei la curbă (la $t = 0$) cu asimptota la curbă (la $\theta = \theta_r$) reprezintă timpul în care conductorul ar atinge încălzirea de regim în condiţiile unei răciri nule.

Această valoare, numită *constantă de timp*, caracterizează posibilităţile de încălzire şi de răcire ale conductorului. Timpul total de atingere a temperaturii de regim este aproximativ egal cu 3τ.

3. SOLICITĂRI ELECTRODINAMICE

Curenţii mari de scurtcircuit, care pot interveni în cazul unor defecte în instalaţie, determină apariţia unor forţe de atracţie sau respingere între conductoare, numite *forţe electrodinamice*.

În regim normal de funcţionare al aparatelor solicitările mecanice datorate forţelor electrodinamice sînt mici. În cazuri de accidente însă, în instalaţie pot să apară curenţi de scurtcircuit de mii şi zeci de mii de amperi. Asupra căilor conductoare de curent ale aparatelor se exercită în acest caz forţe de atracţie sau respingere de mii sau chiar zeci de mii

de newtoni, ceea ce solicită mecanic întregul aparat şi îndeosebi căile conductoare de curent şi izolaţia de susţinere a acestora.

Defectele cele mai frecvent întîlnite, *provocate de efectul forţelor electrodinamice*, sînt:

— îndoirea conductoarelor şi, prin aceasta, reducerea distanţelor de izolare;

— slăbirea legăturilor şi chiar desprinderea conductoarelor din legături;

— slăbirea presiunii pe contacte, care poate determina sudarea contactelor;

— distrugerea prin solicitare mecanică a izolatoarelor suport;

— deschiderea separatoarelor sub sarcină, efect deosebit de grav, care poate produce scurtcircuite în instalaţie şi deteriorări importante ale acesteia;

— deformarea bobinelor.

4. INFLUENŢA MEDIULUI ÎN CARE LUCREAZĂ APARATELE

În timpul funcţionării lor, aparatele electrice sînt puternic influenţate de acţiunea diferiţilor agenţi fizici, cum sînt: umiditatea, praful, radiaţiile solare, vaporii corozivi etc. Aceştia, acţionînd asupra unor elemente sensibile ale aparatelor, pot determina funcţionarea necorectă sau scoaterea din funcţiune.

Aparate care funcţionează în condiţii normale de mediu. Cea mai mare parte a aparatelor se construiesc pentru a funcţiona în condiţii normale, adică în aer, într-un mediu cu următoarele caracteristici (conform STAS 553/3-80):

— altitudinea: pînă la 2 000 m;

— temperatura mediului înconjurător: cuprinsă între −15 şi +40°C (media zilnică nedepăşind 35°C);

— umiditatea relativă a mediului înconjurător: maximum 90% la temperatura de 20°C sau 50% la temperatura de 40°C;

— lipsă de praf şi agenţi corozivi.

Aparatele de înaltă tensiune se construiesc, în funcţie de locul de utilizare, chiar pentru „condiţii normale" de mediu, în două variante:

— *aparate* destinate să funcţioneze în interiorul clădirilor (construcţii *„de interior"*);

— *aparate* destinate să funcţioneze în aer liber (construcţii *„de exterior"*).

Aparatele de exterior, fiind supuse acţiunii directe a intemperiilor (ploaie, zăpadă, chiciură), acţiunii radiaţiilor solare, a vîntului şi a unor depuneri mai bogate de praf, au izolaţia exterioară dimensionată mai larg şi o construcţie mai robustă (la care se iau, de asemenea, măsuri de protecţie împotriva pătrunderii în aparat a apei de ploaie, împotriva efectului radiaţiilor solare şi a unor variaţii mai mari de temperatură).

Aparatele de joasă tensiune se pot construi în multe variante de protecţie. Pentru tipizarea construcţiilor, gradele de protecţie au fost normalizate.

Simbolizarea gradelor normale de protecţie se face (conform STAS 3999-75) prin literele IP urmate de trei cifre caracteristice, caracterizînd fiecare dintre ele cîte unul dintre cele trei grade normale de protecţie şi anume:

— *prima cifră*, care poate lua valori între 0 și 6, simbolizează grade normale de protecție împotriva pătrunderii corpurilor solide și a prafului și de protecție a persoanelor împotriva electrocutării prin atingerea pieselor sub tensiune (v. și tabelul 6.1);

— *a doua cifră*, care poate lua valori între 0 și 8, simblolizează grade normale de protecție împotriva pătrunderii apei (v. tabelul 6.2);

— *a treia cifră*, care poate lua valori între 0 și 5, simbloizează grade normale de protecție împotriva deteriorărilor mecanice.

De exemplu, un aparat pe care este marcată protecția IP—442 este astfel construit încît:
— în aparat nu pot pătrunde corpuri străine avînd dimensiuni peste 1 mm;
— în aparat nu poate pătrunde apă sau alte lichide sub formă de stropi; indiferent de direcția din care vin aceștia;
— aparatul suportă, fără deteriorări, căderea pe aparat a unei greutăți de 0,5 kg de la o înălțime de 40 cm deasupra acestuia.

Aparate care funcționează în condiții speciale de mediu. Există numeroase situații în care condițiile de utilizare ale aparatelor electrice ies din cadrul condițiilor normale:

— temperaturi ale mediului mai mari decît 40°C sau foarte joase (sub −5°C);
— altitudine la locul de utilizare peste 2 000 m;
— atmosferă încărcată cu praf industrial;
— prezență de pulberi sau gaze inflamabile ori explozive;
— climat diferit de cel temperat (diferit de condițiile „normale", care corespund în linii mari climatului temperat din centrul Europei)

Aceste condiții de mediu determină solicitări deosebite ale aparatajului electric și, de aceea, pentru astfel de utilizări se elaborează construcții speciale, dintre care se menționează:

— *aparate destinate să funcționeze în climat normal, dar în încăperi cu umiditate mărită* (băi, pivnițe, grajduri, instalații tehnologice în care se produce abur etc.). Aceste aparate se introduc în carcase etanșe. Se folosesc anumiți izolanți rezistenți la umiditate și se iau măsuri deosebite de protecție a pieselor metalice împotriva coroziunilor;

— *aparate destinate să funcționeze în mediu cu aer marin* (aparate „în construcție navală"). Atmosfera din apropierea țărmului mărilor solicită foarte sever aparatajul electric, deoarece atmosfera umedă și sărată favorizează coroziunea pieselor metalice și înrăutățește mult comportarea pieselor electroizolante. Se iau măsuri de protecție a metalelor împotriva coroziunii și se folosesc aliaje rezistente la acțiunea corosivă a apei de mare, cum sînt bronzul și siluminul;

— *aparate destinate să funcționeze la altitudini de peste 2 000 m sau în instalații electrice la bordul avioanelor*. La altitudini mai mari de 2 000 m se face simțită influența rarefierii aerului care determină:

— reducerea tensiunii de străpungere;
— înrăutățirea condițiilor de răcire;
— modificarea, la altitudini de peste 6—7 000 m, a condițiilor de stingere a arcului electric;

— *aparate destinate să funcționeze în medii conținînd pulberi sau gaze explozive*. Arcul electric care se formează în mod normal la funcționarea aparatelor de întrerupere sau cel care se poate forma în caz de accidente prin străpungerea sau conturnarea unei izolații imperfecte, poate provoca

Tabelul 10.1

Semne convenționale pentru aparate electrice

Nr.	Semnul convențional	Denumirea semnului convențional
1		Contact normal deschis
2		Contact normal închis
3		Contact de comutator fără poziție neutră (cu întreruperea circuitului)
4		Contact acționat de releu termic: *a* — cu revenire automată; *b* — cu zăvorîre mecanică și deblocare manuală
5		Contact cu zăvorîre mecanică: *a* — normal deschis; *b* — normal închis
6		întreruptor pentru înaltă tensiune (semn general) (raportul laturilor 1/1)
7		întreruptor pentru joasă tensiune
8		întreruptor automat de înaltă tensiune (raportul laturilor 1/1,5)
9		întreruptor automat de joasă tensiune (semn general)
10		întreruptor cu pîrghie în aer de joasă tensiune tripolar
11		Contactor: *a* — normal deschis (contactor); *b* — normal închis (ruptor)
12		Buton de comandă cu revenire automată: *a* — cu contact normal deschis; *b* — cu contact normal închis
13		Priză și fișă multipolară asamblată

incendii sau explozii grave dacă atmosfera este încărcată cu substanţe inflamabile sau explozive. Astfel de situaţii se întîlnesc în minele de cărbuni, în care există pericolul de apariţie a gazului „grizu" (amestec de metan cu aer), în instalaţiil de extragere, prelucrare şi depozitare a produselor petroliere şi în multe instalaţii din industria chimică. Aparatele antiexplozive se marchează cu simbolul general Ex (STAS 6877/1-73).

Dintre diferitele procedee care urmăresc să evite aprinderea amestecului exploziv, mai importante sînt *imersiunea în ulei* (simbol 0) şi *capsularea antideflagrantă* (simbol d).

Capsularea antideflagrantă este soluţia cea mai frecvent folosită. Ea constă în închiderea aparatului într-o carcasă metalică rezistentă la presiunea maximă ce poate apărea în cazul unei explozii în interiorul aparatului. De asemenea, carcasa metalică a aparatului este astfel construită, încît gazele din interior aprinse în momentul apariţiei arcului electric sînt aruncate în afară prin interstiţii foarte înguste, care determină o răcire puternică a gazelor şi împiedică astfel transmiterea exploziei în exterior. Lăţimea şi lungimea interstiţiului au valori impuse prin norme şi variază în funcţie de volumul carcasei şi de natura mediului exploziv;

— *aparate destinate să funcţioneze în climatul ţărilor calde (climat tropical)*. Materialele izolante folosite şi acoperirile pieselor metalice se aleg în funcţie de tipul climatului tropical;

— climat *tropical umed (TH)*, caracterizat prin temperatură şi umiditate mare, variaţii mari de temperatură între zi şi noapte şi microorganisme (mucegaiuri, ciuperci);

— climat *tropical uscat (TA)*, caracterizat prin temperaturi înalte, radiaţii solare, puternice, furtuni de nisip.

E. SEMNE CONVENŢIONALE PENTRU APARATE ELECTRICE

Semnele convenţionale pentru aparatele electrice sînt indicate în STAS 1590/6-71

Aceste semne dau o imagine simplificată a aparatului şi a funcţiei sale.

Semnele convenţionale pentru aparate se grupează astfel:

— semne convenţionale pentru contacte;

— semne convenţionale pentru întreruptoare, separatoare, contactoare, ruptoare;

— semne convenţionale pentru butoane, comutatoare, controlere, chei de comandă;

— semne convenţionale pentru prize şi fişe.

În mod obişnuit semnele convenţionale reprezintă aparatele în poziţia de repaus.

Semnele principalelor aparate sînt indicate în tabelul 10.1.

În cadrul schemelor se pot folosi semne convenţionale monofilare sau multifilare cînd se reprezintă toate traseele de curent.

F. APARATAJ DE INSTALAŢII

Principalele aparate de instalaţii sînt:

— întreruptoarele şi comutatoarele de instalaţii;

— prizele şi fişele casnice şi industriale;

— butoanele de sonerie şi de lumină;

— tablourile casnice cu siguranţe;

— tablourile casnice cu siguranţe, contor şi sonerie;

Întreruptoarele şi comutatoarele de instalaţii pot fi utilizate în mai multe execuţii şi anume:

— *pe tencuială*, pentru instalaţiile executate în tuburi de protecţie uşoară montate pe tencuială;

— *sub tencuială*, pentru instalaţiile executate în tuburi de protecţie uşoară îngropate în canale în zid şi acoperite cu tencuială; aparatele sînt montate în doze;

— *protejate în bachelită sau carcasă metalică*, pentru instalaţiile executate în tuburi de protecţie IPE acolo unde este necesar un grad de protecţie mai ridicat; aparatele în carcasă metalică sînt recomandate acolo unde pot apărea solicitări mecanice cum este cazul şantierelor, magaziilor etc.;

— *aparate intenc*, utilizate în cazul instalaţiilor executate în conductor bifilar plat montat pe zid în grosimea tencuielii.

În general, indiferent de fabricaţie, soclurile cu contacte şi sistemul de acţionare sînt comune în toate execuţiile.

Întreruptoarele şi comutatoarele pentru instalaţii sînt în general, de două feluri, în funcţie de modul de acţionare şi anume: *rotative şi basculante* cu varianta cumpănă.

Întreruptoarele şi comutatoarele rotative au fost părăsite în ultimul timp deoarece ele sînt mai puţin rezistente mecanic şi electric şi fac zgomot mare la manevrare.

Întreruptoarele şi comutatoarele cumpănă monobloc (cu soclul făcînd corp comun cu capacul) au în general contacte de argint ceea ce le asigură o viaţă electrică îndelungată, iar mecanismul, mai simplu, este şi el mai rezistent.

Una dintre caracteristicile comune ale aparatelor moderne este faptul că bornele de legătură sînt astfel construite, încît permit legarea conductoarelor de aluminiu în bune condiţii. Aceste borne trebuie să aibă o serie de calităţi, necesare pentru legarea conductorului de aluminiu, care este friabil şi nu permite efectuarea ochiurilor şi în acelaşi timp se tasează sub un efort continuu în timp, ceea ce duce la micşorarea forţei de apăsare pe contact şi la încălzirea bornei. Din această cauză, bornele sînt astfel executate, încît conductorul se introduce drept şi au un element elastic care preia tasarea conductorului menţinînd forţa de apăsare pe contact.

Cîteva dintre tipurile de borne larg întîlnite la aparatajul de instalaţii sînt cele prezentate în figura 10.3. În figura 10.3, *a* este reprezentată o bornă în care conductorul se introduce drept sub lama elastică 1 şi se strînge cu şurubul *3*. În figura 10.3, *b* este reprezentată borna cea mai răspîndită, fiind mai simplă din punct de vedere tehnologic. Acest tip construc-

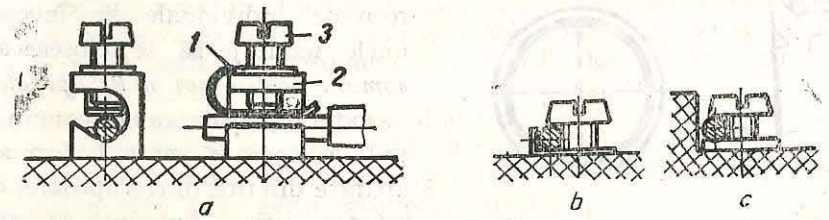


Fig. 10.3. Borne pentru aparataj de instalaţii:
a — cu lamă elastică (*1* — lamă elastică; *2* — bornă; *3* — şurub de strîngere); *b* — cu perete metalic; *c* — cu perete izolant.

tiv de bornă se bazează pe elasticitatea corpului şurubului, care, aşa cum se observă în figură, este solicitat neaxial. Pentru ca să nu fie nevoie de îndoirea conductorului, acesta se introduce între corpul şurubului şi un perete metalic (fig. 10.3, *b*) sau din material izolant făcînd parte din soclu (fig. 10.3, *c*).

Bornele la care strîngerea conductorului se face sub vîrful şurubului nu sînt admise pentru conductoarele de aluminiu. Nu se va face niciodată ochi la conductorul de aluminiu.

O altă tendinţă comună în aparatajul de instalaţii modern este utilizarea capacelor din materiale plastice albe sau de culori deschise cu faţa cît mai lucioasă. Din această cauză pentru păstrarea aspectului trebuie evitată în timpul transportului şi montajului zgîrierea sau murdărirea feţelor, stocarea de aparate în vrac, sau manipularea neglijentă a pieselor în timpul montajului. Este bine ca pînă la fixarea pe perete sau suport, aparatele să fie păstrate în cutii.

Aparatele pe tencuială sînt montate pe suporturi izolante cum sînt lemnul sau zidăria, sau pe materiale metalice. Aparatul are prevăzută din construcţie o distanţă suficientă între piesele sub tensiune şi suport ; este însă necesar ca faţa pe care se montează să fie plană şi să nu prezinte vîrfuri metalice sau muchii tăioase.

În cazul montării pe perete, aparatul se montează pe un diblu de lemn care se introduce în perete într-un orificiu anume săpat şi se fixează cu ipsos sau mortat (fig. 10.4, *a*). Diblul trebuie să se afle la circa 2—3 mm de faţa peretelui. Nu trebuie executată montarea aparatelor înainte ca materialul de fixare a diblului să se solidifice, astfel încît fixarea să se facă bine. Diblul trebuie să fie suficient de lung şi de lat pentru ca şuruburile pentru lemn să aibă o prindere bună. Distanţa între şuruburile de prindere normalizată fiind de 36 mm, diblul va avea lungimea de minimum 50 mm. Fixarea aparatului în acest caz se va face numai cu şuruburi pentru lemn.

Aparatele sub tencuială se montează în doza de instalaţii normalizată conform STAS 552-71, care poate fi metalică cu căptuşeală izolantă sau chiar din material izolant, de exemplu bachelită sau PVC.

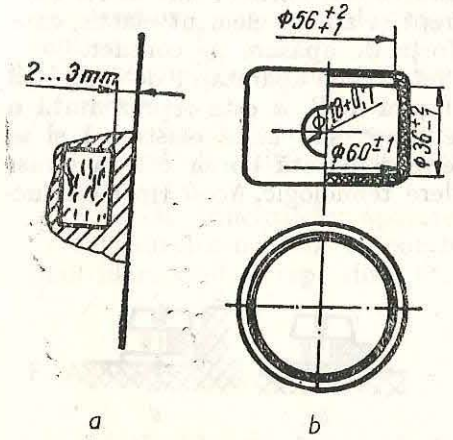


Fig. 10.4. Montarea aparatelor pe tencuială (*a*) şi doza pentru montaj sub tencuială (*b*).

Pe lîngă *dozele rotunde* reprezentate în figura 10.4, *b*, avînd dimensiunile normalizate, în ţara noastră există tendinţa de utilizare a *dozelor poligonale* care au avantajul compactităţii şi al posibilităţii de a se monta mai multe alăturate.

În afară de dozele poligonale sau rotunde individuale au început la unele montaje să se folosească *doze comune pentru mai multe aparate*, care în exterior au un capac comun. Grupul de aparate poate fi format din aparate diferite (întreruptoare, comutatoare, prize, butoane de sonerie) sau poate fi format din acelaşi fel de aparate.

Pentru montarea aparatelor sub tencuială, se va începe prin lăsarea capetelor conductoarelor suficient de lungi (cam de 100—120 mm), pentru a face legătura la borne în exterior, iar la introducerea aparatului în doză conductorul să facă o buclă suficient de largă care să nu ducă la ruperea lui, în special în cazul conductoarelor de aluminiu.

Strîngerea conductoarelor la borne se va face cu deosebită grijă pentru a se evita desfacerea lor prin introducerea aparatului în doză. Acest lucru este cu atît mai necesar la aparatele monobloc care nu au un soclu separat ci unit cu capacul, deci bornele nu se pot vedea, cînd aparatul este introdus în doză.

După legarea conductoarelor la borne se introduce soclul în doză separat sau împreună cu capacul la aparatele monobloc. Se fixează apoi în doză cu ajutorul ghearelor de fixare care se înfig în pereţii dozei. În cazul în care soclul şi capacul sînt separate, aparatul este prevăzut cu o ramă metalică în care se articulează ghearele de fixare. Aparatele monobloc trebuie introduse pînă cînd capacul se sprijină pe perete pe tot conturul.

Strîngerea ghearelor de fixare se face cu grijă pentru a se evita spargerea peretelui de sprijin de pe soclu, în special în cazul aparatelor monobloc care nu au ramă metalică şi totuşi trebuie fixate în doză sucifient de sigur. Trebuie avut grijă ca poziţia capacului să fie orizontală cu atît mai mult, cu cît în ultimul timp s-au generalizat capace dreptunghiulare sau pătrate.

Aparatele intenc, apropiate de aparatele sub tencuială, sînt destinate a fi montate pe panouri fabricate din beton, în grosimea stratului de tencuială. Aceste aparate au o doză din material izolant de grosime redusă şi capacul puţin mai bombat decît la aparatele sub tencuială.

Conductoarele de legătură nu se introduc în tuburi ci sînt montate direct în stratul de tencuială. De aceea, ele sînt foarte plate şi au o izolaţie din material plastic rezistentă la umezeală.

Intrarea lor în doze se face prin deschidere simplă. Doza izolantă se fixează în stratul de tencuială prin prinderea ei de tencuiala proaspătă. Unele doze intene au în spate un locaş pentru o gheară metalică ce se încastrează de asemenea în tencuială. În rest montarea este asemănătoare celei a aparatelor sub tencuială. Pentru a face legăturile la borne se va despica conductorul dublu pe o lungime suficientă, pentru a se face legătura uşor. Se va avea însă grijă să nu se dezgolească conductorul metalic.

Aparatele capsulate în carcase din material izolant sau *în carcase metalice*, care conferă şi o rezistenţă mărită la lovituri, reprezintă un tip superior de protecţie împotriva pătrunderii apei şi a corpurilor străine. În general, tipul de protecţie asigurat este IP 54, adică la apă din toate direcţiile, împotriva oricăror corpuri străine cu excepţia pătrunderii parţiale a prafului.

Aparatele sînt în general executate dintr-o cutie în care se găseşte soclul aparatului, prevăzut cu un capac care asigură închiderea etanşă a cutiei şi permite manevrarea butonului etanş. Unele construcţii au şi un căpăcel care asigură etanşeitatea butonului sau a orificiilor, pentru introducerea fişei în corpul prizei.

Cutia se fixează pe perete prin dibluri de lemn sau pe suport metalic încastrat în perete. Se va avea grijă, în special în cazul cutiilor izolante, să se strîngă uniform toate şuruburile de fixare, păstrîndu-se planeitatea suportului pentru a se evita spargerea cutiilor.

Conductoarele sînt aduse fie în tuburi de protecţie etanşe IPE, fie sub formă de cablu în manta de cauciuc. Pentru asigurarea etanşeităţii,

la intrarea în cutie a conductoarelor se folosesc în general două sisteme : cu mufă de etanşare sau cu dop de etanşare.

În cazul mufei de etanşare, cutia are orificiile de intrare filetate tot cu filet IPE. Dacă se foloseşte tubul de protecţie IPE, acesta se introduce direct în cutie prin înşurubare. În cazul utilizării cablului în manta de cauciuc sau plumb, acesta se etanşează cu ajutorul unei mufe.

După efectuarea legăturilor se fixează capacul cutiei. Între acesta şi cutie se află întotdeauna o garnitură care trebuie aşezată cu grijă pentru a nu fi deplasată din locaşul său.

Aparatele în carcasă metalică sînt în unele cazuri vopsite. Se va avea grijă să nu se deterioreze în timpul montajului stratul de vopsea, pentru a se evita coroziunea metalului, cu atît mai mult, cu cît aceste aparate sînt în general montate în locuri supuse acţiunii directe a apei ploii, prafului etc. Din acelaşi motiv se va verifica atent etanşarea intrării conductoarelor şi a capacului.

Montarea prizei se face în mod analog întreruptoarelor şi comutatoarelor. În cazul prizelor cu contact de protecţie trebuie avut o grijă deosebită pentru montarea conductorului de protecţie la borna corespunzătoare contactului de protecţie şi evitarea legăturii greşite a unui conductor de tensiune la acest contact. Pentru aceasta trebuie observat că bornele corespunzătoare sînt marcate, ca atare, cu semnul ⏚ sau ⊥ pentru cazul în care se foloseşte un conductor de masă. Şi în cazul montării fişei se va avea aceeaşi grijă.

La montarea prizelor şi fişelor tripolare trebuie verificat dacă introducerea fişei într-o poziţie greşită este imposibilă. Acest blocaj, asigurat prin construcţie, trebuie totuşi verificat şi la montare, deoarece în timpul transportului şi manipulării la montare pot apărea deformări care anulează blocajul conceput. Astfel de defecţiuni pot provoca accidente foarte grave, deoarece carcasele motoarelor sau altor receptoare, în loc să se lege la conductorul de protecţie, se leagă direct la una dintre faze.

Pentru că în general nu se folosesc papuci la efectuarea legăturilor la bornele întreruptoarelor şi prizelor, se va da atenţie capetelor dezizolate atît în privinţa lungimii, cît şi pentru a nu lăsa mustăţi în cazul conductoarelor flexibile.

Şuruburile la borne trebuie bine strînse. În final se va da atenţie curăţirii capacelor şi poziţiei lor unul faţă de celălalt.

G. ÎNTRERUPTOARE CU PÎRGHIE

Întreruptoarele cu pîrghie corespund condiţiilor tehnice prevăzute în STAS 2425-75. Ele sînt mult folosite atît în industrie, cît şi în instalaţiile semiindustriale, la acţionarea motoarelor mici (polizoare etc.) din ateliere izolate etc.

Deoarece întreruptoarele cu pîrghie, nu au capacitate de rupere mare şi nu se deschid automat, în cazul unui scurtcircuit ele nu pot proteja circuitul sau receptorul de energie electrică. De aceea, ele trebuie să fie montate în serie cu siguranţe fuzibile, care să realizeze protecţia la scurtcircuit (fig. 10.5).

Întreruptoarele cu pîrghie tripolare pot fi utilizate şi în curent continuu, legîndu-se două contacte în serie. În acest caz, ele au caracteristicile nominale cu valori mai reduse.

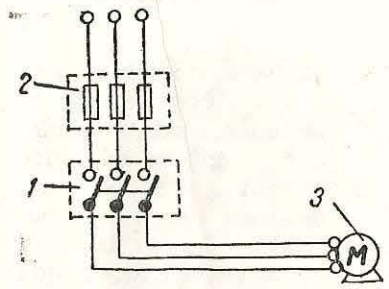


Fig. 10.5. Schema de acţionare a unui motor comandat cu întreruptor cu pîrghie:
1 — întreruptor cu pîrghie; *2* — siguranţe fuzibile; *3* — motor electric.

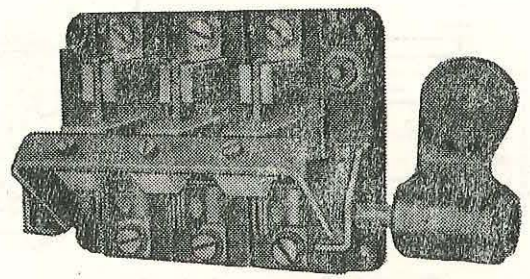


Fig. 10.6. Întreruptor cu pîrghie tripolar de 60 A cu placă de bachelită, cu întrerupere bruscă prin resort.

Întreruptoarele cu pîrghie se realizează în ţara noastră în două construcţii :

— cu placa de bază şi capac din material termorigid, cum sînt mărimile de 25, 63, 100 A;

— pe cadru metalic pentru montare în panouri, cum sînt mărimile de 630 şi 1 000 A.

În figura 10.6 este reprezentată construcţia unui întreruptor de 60 A, fără capac, iar în figura 10.7 cea a unui întreruptor pentru montare în panou.

În general întreruptoarele cu pîrghie nu au camere de stingere şi nu au capacitate de rupere mare (numai 1,25*I*). Totuşi la valori nominale peste 100 A s-au prevăzut pereţi despărţitori între faze, din material izolant rezistent la arc electric.

Se verifică funcţionarea aparatului în circuitul scos de sub tensiune, urmărindu-se în special: deplasarea uşoară a manetei şi a axului contactelor şi intrarea corectă a contactelor mobile în contactele fixe, iar în cazul întreruptoarelor bipolare şi tripolare intrarea practic simultană a contactelor mobile în contactele fixe. Decalajul la conectarea între contactele de pe faze diferite trebuie să nu depăşească 1 mm pentru aparatele funcţionînd la curenţi pînă la 60 A. Pentru aparatele de curent nominal mai mari intrarea simultană în contact se reglează din contactul fix sau acţionîndu-se uşor asupra contactului mobil.

Se montează apoi camera de stingere şi capacul de protecţie (acolo unde este prevăzut). Este strict interzisă manevrarea aparatelor fără camere de stingere şi capace de protecţie, deoarece se pot produce scurtcircuite între faze, care duc la distrugerea aparatului şi accidentarea manevrantului.

Înainte de darea în exploatare se va unge cu unsoare neutră mecanismul, lagărele axului şi furcile-lagăr ale contactelor. De asemenea, se vor unge cu un strat subţire şi capetele contactelor mobile care intră în contactele fixe.

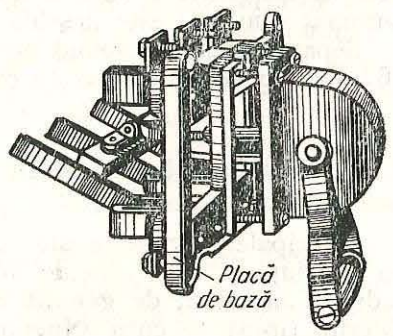


Fig. 10.7. Întreruptor cu pîrghie tripolar montat în spatele tabloului şi acţionat din faţa tabloului prin manetă şi sistem de pîrghii.

H. SEPARATOARE

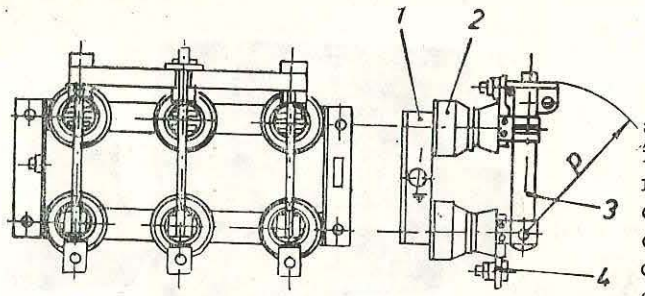


Fig. 10.8. Separator de joasă tensiune:
1 — suport metalic; *2* — izolator; *3* — contact mobil; *4* — bornă.

Separatoarele sînt aparate care servesc la închiderea sau deschiderea circuitelor electrice care nu sînt sub sarcină, deoarece ele nu au capacitatea de a întrerupe decît curenți foarte mici (de mărimea unui curent de mers în gol al unui transformator de putere).

Separatorul are rolul de a asigura observarea de la distanță a stării circuitului: închis sau deschis.

Separatoarele se montează între diferite porțiuni ale instalațiilor electrice, în scopul separării lor la efectuarea unor lucrări la care este necesară întreruperea tensiunii.

Ele sînt asemănătoare întreruptoarelor cu pîrghie, dar nu au cuvă și nici camere de stingere deoarece trebuie să aibă contactele vizibile pentru a prezenta siguranța întreruperii circuitului (fig. 10.8).

Barele care formează contactele mobile sînt de cupru sau alamă, iar contactele fixe sînt elastice, pentru a asigura forța de apăsare pe contact.

Ele se acționează cu ajutorul unei prăjini cu mîner izolant.

La montarea separatoarelor se va avea o deosebită grijă ca barele de legătură să fie corect îmbinate. Suprafețele de contact trebuie argintate sau cositorite, deoarece aparatele se manevrează rar, iar șuruburile de legătură trebuie bine strînse. Șuruburile bornelor de legătură sînt prevăzute cu șaibe elastice, care să asigure menținerea stării contactului.

Se va verifica întotdeauna închiderea corectă a contactelor mobile (dacă toate cuțitele intră axial în furci, fără să tragă furca într-o parte), pentru a se evita scăderea forței de apăsare pe contact.

Contactele și cuțitele trebuie unse cu unsoare neutră după montare.

La montarea separatoarelor se va avea grijă în mod deosebit ca aparatul să nu se poată deschide întîmplător, de la sine sau din greșeală. Din această cauză se va monta întotdeauna un dispozitiv de blocare în poziția închis, care să nu poată fi îndepărtat decît în momentul în care întreruptorul automat din aval este deschis.

Separatoarele corespund prescripțiilor STAS 553-80 și normei interne 267—52, în ceea ce privește condițiile tehnice.

I. ÎNTRERUPTOARE ȘI COMUTATOARE PACHET

Principalele avantaje ale acestor aparate sînt: posibilitatea realizării cu ușurință a unor scheme diferite, puterea de rupere în volum relativ redus, dimensiuni de gabarit redus, posibilitatea de capsulare ușoară în diferite tipuri de cutii. Numărul de manevre mecanice este însă relativ redus.

Întreruptoarele pachet sînt formate din etaje izolate suprapuse. În fiecare etaj se află două pînă la patru contacte fixe între care se face legă-

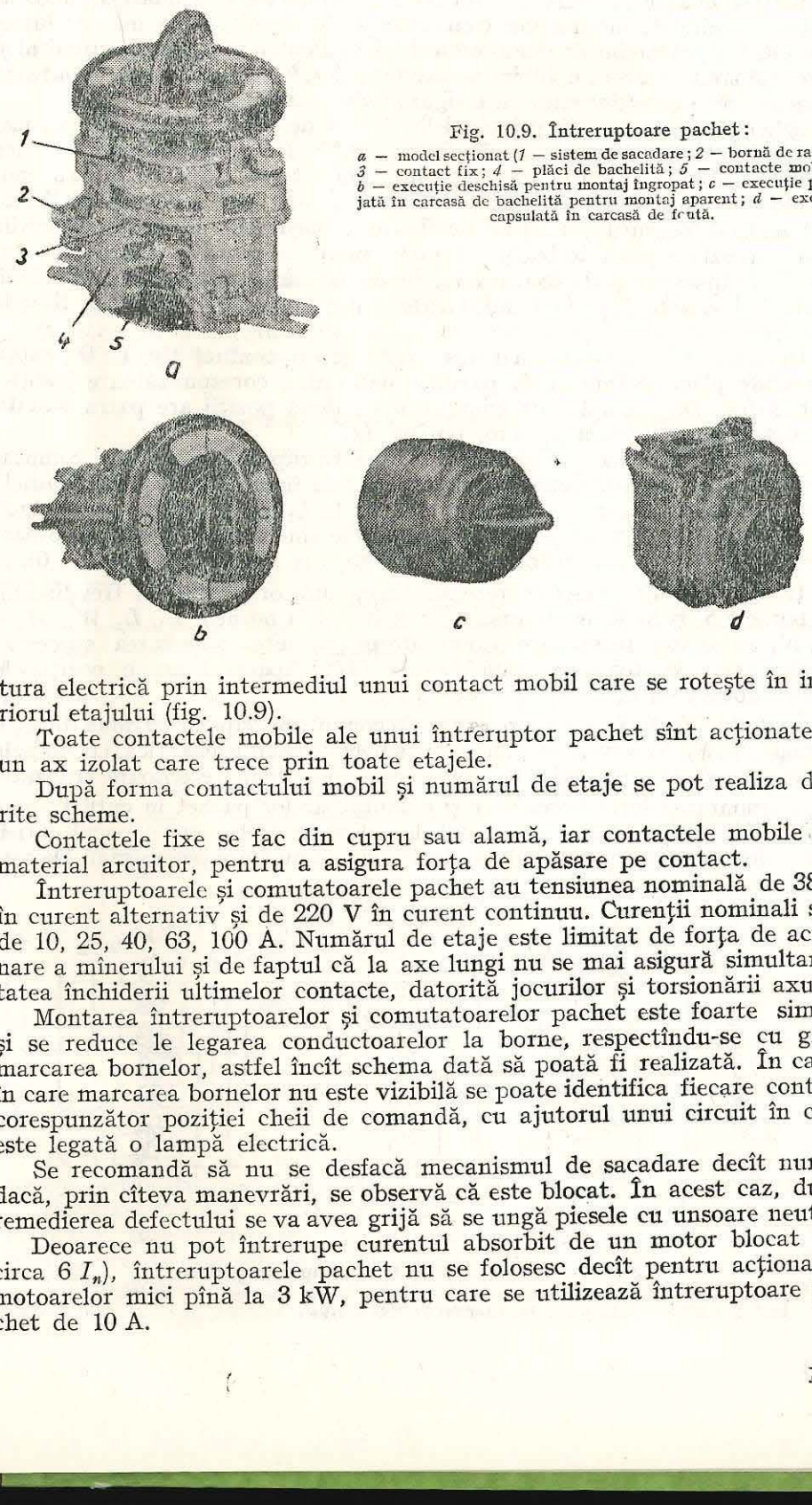


Fig. 10.9. Întreruptoare pachet:
a — model secționat (*1* — sistem de sacadare; *2* — bornă de racord; *3* — contact fix; *4* — plăci de bachelită; *5* — contacte mobile); *b* — execuție deschisă pentru montaj îngropat; *c* — execuție protejată în carcasă de bachelită pentru montaj aparent; *d* — execuție capsulată în carcasă de fontă.

tura electrică prin intermediul unui contact mobil care se rotește în interiorul etajului (fig. 10.9).

Toate contactele mobile ale unui întreruptor pachet sînt acționate de un ax izolat care trece prin toate etajele.

După forma contactului mobil și numărul de etaje se pot realiza diferite scheme.

Contactele fixe se fac din cupru sau alamă, iar contactele mobile din material arcuitor, pentru a asigura forța de apăsare pe contact.

Întreruptoarele și comutatoarele pachet au tensiunea nominală de 380V în curent alternativ și de 220 V în curent continuu. Curenții nominali sînt de 10, 25, 40, 63, 100 A. Numărul de etaje este limitat de forța de acționare a mînerului și de faptul că la axe lungi nu se mai asigură simultaneitatea închiderii ultimelor contacte, datorită jocurilor și torsionării axului.

Montarea întreruptoarelor și comutatoarelor pachet este foarte simplă și se reduce le legarea conductoarelor la borne, respectîndu-se cu grijă marcarea bornelor, astfel încît schema dată să poată fi realizată. În cazul în care marcarea bornelor nu este vizibilă se poate identifica fiecare contact corespunzător poziției cheii de comandă, cu ajutorul unui circuit în care este legată o lampă electrică.

Se recomandă să nu se desfacă mecanismul de sacadare decît numai dacă, prin cîteva manevrări, se observă că este blocat. În acest caz, după remedierea defectului se va avea grijă să se ungă piesele cu unsoare neutră.

Deoarece nu pot întrerupe curentul absorbit de un motor blocat (de circa 6 I_n), întreruptoarele pachet nu se folosesc decît pentru acționarea motoarelor mici pînă la 3 kW, pentru care se utilizează întreruptoare pachet de 10 A.

Întreruptoarele pachet cu intensităţi nominale mai mari se folosesc pentru circuite de lumină sau comutatoare de circuit şi ele nu vor întrerupe decît suprasarcini de maximum 1,25 I_n. Pentru a se proteja circuitul şi întreruptoarele pachet împotriva scurtcircuitelor, în serie cu ele se montează elemente de protecţie, cum sînt siguranţele fuzibile.

Schemele electrice ale principalelor tipuri de întreruptoare şi comutatoare pachet sînt reprezentate în figura 10.10. În aceste scheme electrice sînt reprezentate discurile de bachelită, constituind suporţii pentru contactele fixe. Aceste discuri sînt prevăzute cu cîte două scobituri periferice reprezentînd locaşurile tiranţilor de fixare a pachetului de plăci. Cercurile goale reprezintă plăci de bachelită goale, montate pentru a asigura distanţele de străpungere şi de conturnare. În cercuri sînt reprezentate cele două tipuri de contacte I, L (denumite astfel datorită asemănării lor cu literele I şi L).

În afara celor arătate mai sus există şi un contact tip T. Deasupra şirului de plăci se reprezintă poziţiile butonului, corespunzătoare poziţiei contactelor. De exemplu, un comutator cu două poziţii are patru situaţii succesive: zero, poziţia *I*, zero, poziţia *II*.

În figura 10.10, *a* este reprezentat un întreruptor bipolar. Un comutator bipolar cu două direcţii este reprezentat în figura 10.10, *b*. La bornele S_1, S_2 se leagă sursa de energie electrică, iar la L_1, L_2 şi M_1, M_2, cele două receptoare. Comutatorul permite comanda pe rînd a celor două receptoare (poziţiile *I* şi *II*), avînd două poziţii de repaus (poziţiile notate cu 0).

În figura 10.10, *c* este reprezentat un comutator bipolar cu trei direcţii. La bornele S_1 şi S_2 se leagă sursa de curent, iar la bornele L_1, L_2, W_1, M_2 şi N_1, N_2 cele trei receptoare. Comutatorul permite conectarea succesivă a celor trei receptoare (poziţiile *I—II—III*). Aparatul are o poziţie de repaus notată cu 0.

În figura 10.10, *d*, este reprezentat un comutator tripolar cu două direcţii. Bornele S_1, S_2, S_3 servesc la conectarea sursei de energie electrică, iar bornele L_1, L_2, L_3 şi M_1, W_2, M_3, la conectarea celor două receptoare trifazate.

La montarea întreruptoarelor şi comutatoarelor pachet în cutii trebuie avut grijă ca, în cazul în care axul de acţionare trece prin capacul cutiei, gaura de trecere să fie astfel dată, încît axul să nu frece pe margini. De asemenea, se va evita frecarea dintre butonul de manevrare şi capac, deoarece aceasta poate provoca blocarea aparatului.

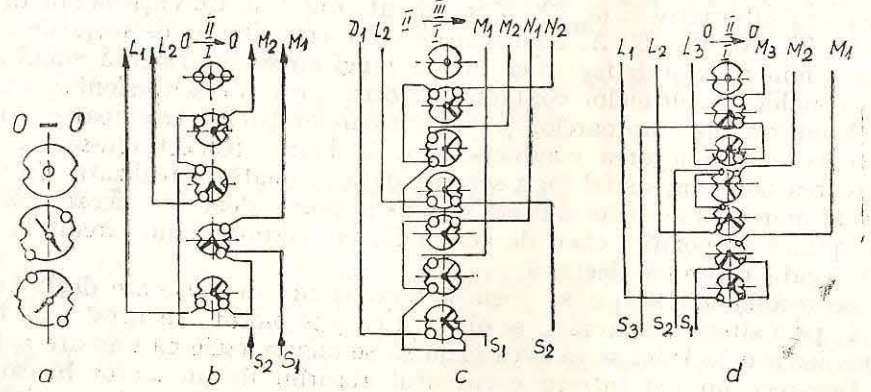


Fig. 10.10. Scheme de diferite întreruptoare pachet:
a — întreruptor bipolar; *b* — comutator bipolar cu două direcţii; *c* — comutator bipolar cu trei direcţii; *d* — comutator tripolar cu două direcţii.

La montarea în cutii se va ţine seamă şi de faptul că, pentru a se evita încălzirea peste limitele admisibile ale materialului izolant, volumul cutiei trebuie să fie de circa trei ori mai mare decît volumul ocupat de aparate. Pe cît posibil se vor introduce paravane izolante între aparate cînd acestea sînt montate foarte aproape pe acelaşi panou.

J. COMUTATOARE CU CAME

Comutatoarele cu came se utilizează în circuitele primare şi de comandă. Caracteristicile lor tehnice sînt indicate în tabelele 10.2 şi 10.3.

Comutatoarele cu came (fig. 10.11) se compun dintr-un număr de plăci montate în etaj şi fixate între ele.

Tabelul 10.2

Caracteristicile nominale ale comutatoarelor cu came

Tensiunea nominală V	Curentul nominal termic A	Domeniul de utilizare
380	16	Circuite de comandă Pornirea motoarelor asincrone pînă la maxim 7,5 kW/380 V
380	25	Instalaţii de iluminat
380	40	Instalaţii de forţă la tablouri de distribuţie
380	63	Comutarea circuitelor de forţă

Tabelul 10.3

Capacitatea de rupere a comutatoarelor cu came

Mărimea	Curentul nominal	Domeniul de utilizare	Capacitatea de rupere, în A		Numărul de manevre	Tensiunea
			cos φ = 0,4	cos φ = 0,7		
C 16	16	Circuitul secundar Circuitul principal	12,5 —	20 96	50 50	418 418
C 25	25	Circuitul principal	—	37,5	50	418
C 40	40	Circuitul principal	—	60	50	418
C 63	63	Circuitul principal	—	94,5	50	418

Pe fiecare etaj sînt montate cîte două contacte independente cu dublă rupere, acţionate de o camă, aşa cum se observă în figura 10.11, *b*.

Poziţia butonului este asigurată de un sistem de sacadare cu resoarte elicoidale care acţionează asupra unui came de sacadare. Numărul de poziţii este determinat de o camă de blocare.

Comutatoarele cu came au avantaje asupra celor pachet, deoarece fiecare contact este independent, iar acţionarea cu came permite reducerea

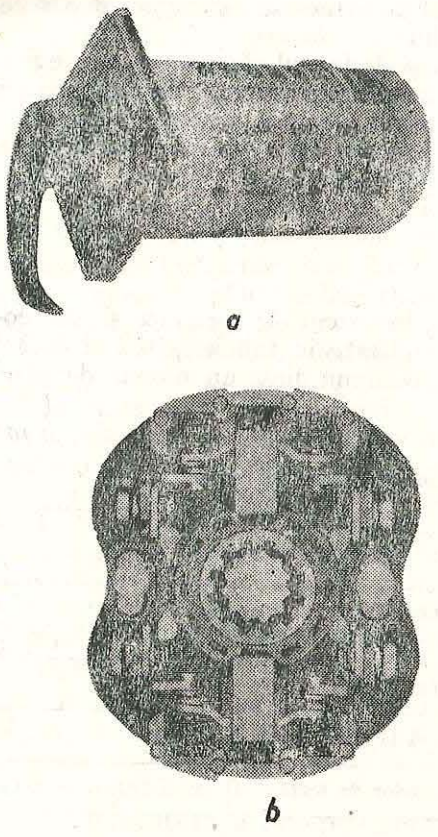


Fig. 10.11. Comutator cu came:
a — vedere generală; *b* — sistemul de contacte; *c* — sistemul de sacadare.

efortului de acționare. De asemenea, pentru aceeași schemă numărul etajelor se reduce foarte mult.

Schemele obținute sînt variate și, datorită faptului că rezistența la uzură mecanică și electrică este relativ mare, utilizarea lor s-a răspîndit foarte mult, în special în componența pupitrelor și panourilor de comandă și automatizare.

Întrucît există multe variante constructive, se vor respecta întocmai instrucțiunile de exploatare și montaj.

În construcția comutatoarelor de acest tip se utilizează foarte mult piese din materiale plastice și contacte de argint sau din aliaje de argint. Utilizarea argintului mărește mult rezistența la uzură electrică a aparatului.

K. PRIZE ȘI FIȘE INDUSTRIALE

Prizele și fișele sînt aparate care se utilizează pentru conectarea la rețea a consumatorilor mobili, cum sînt grupurile de sudură, mașinile de găurit și polizoarele portabile etc.

Priza este fixă, avînd contactele la rețea, iar fișa este mobilă, avînd contactele conectate la cordonul flexibil, de alimentare a consumatorului.

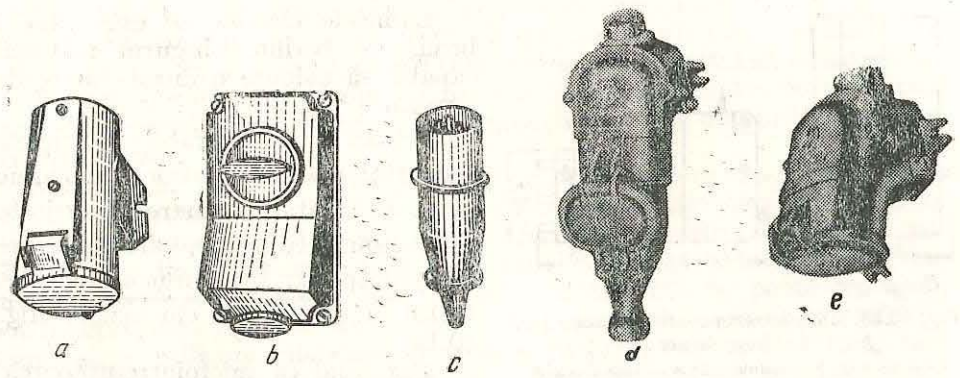


Fig. 10.12. Prize și fișe industriale din material plastic *(a,b,c)* și din metal *(d* și *e)*:
a, b, c, - prize; *c* — fișă; *d* — priză și fișă asamblate.

Contactele prizei sînt în formă de teacă cilindrică sau de furcă și sînt protejate împotriva atingerii (deoarece sînt sub tensiune); contactele fișei sînt în formă de știft cilindric sau de lamelă și sînt protejate numai împotriva loviturilor.

Prizele și fișele industriale sînt tripolare; ele au în plus un contact de nul și un contact de pămînt sau cel puțin unul cu ambele funcțiuni.

Știftul de contact corespunzător contactului de pămînt trebuie să fie mai lung, astfel încît legătura la pămînt să se facă înaintea celorlalte.

Construcția prizei, amplasarea sau dimensiunile știfturilor trebuie astfel realizate, încît introducerea fișei în priză să nu fie posibilă decît în poziția corectă.

Prizele și fișele industriale se construiesc pentru tensiunea de 380—500 V și curenți nominali între 16 și 100 A (fig. 10.12).

L. MICROÎNTRERUPTOARE

Microîntreruptoarele constituie unul dintre cele mai utilizate elemente de automatizare, fiind foarte des folosit ca traductor de poziție și cursă și intrînd ca element de conectare într-o serie întreagă de alte reductoare și aparate.

Microîntreruptoarele sînt caracterizate prin:

— întrerupere bruscă, independentă de viteza de deplasare a organului de acționare;

— funcționare foarte precisă (comutarea contactelor dintr-o poziție în alta se face la o anumită poziție bine definită a elementelor de acționare);

— efort mic și cursă foarte redusă a elementului de acționare;

— dimensiuni reduse;

— frecvență mare de conectare (de ordinul a cîtorva mii de conectări pe oră) și durată de serviciu foarte mare (de ordinul a un milion de manevre);

— curenți nominali de ordinul a 6—10 A în curent alternativ și a 0,5—2 A în curent continuu.

Se folosesc diferite soluții constructive: cu lamelă elastică în T, cu lamelă elastică în arc de cerc, cu resort elicoidal.

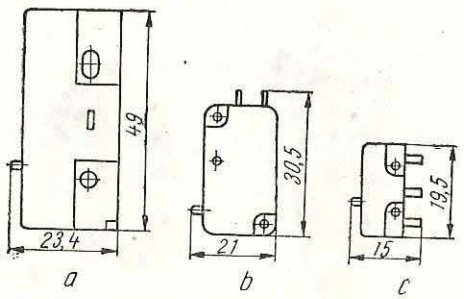


Fig. 10.13. Microîntreruptoare — dimensiuni normalizate:
a — normal; *b* — miniatură; *c* — subminiatură.

Lamelele elastice se execută din bronz cu beriliu, singurul material capabil să asigure o durată mare de serviciu.

Pentru a se satisface multiplele necesităţi ale instalaţiilor moderne se fabrică astăzi o mare diversitate de microîntreruptoare, care se deosebesc în special prin dimensiuni (fig. 10.13) şi elementele cinematice (fig. 10.14).

Dat fiind că microîntreruptoarele sînt aparate sensibile, este strict interzis ca în timpul montării sau al încercărilor să se depăşească forţa de acţionare sau cursa butonului prevăzute în catalogul produselor.

Înainte de a se începe montarea se vor controla încă o dată datele de catalog ale microîntreruptoarelor cu cele din cricuitul în care sînt montate. În primul rînd trebuie urmăriţi următorii parametrii principali:

— spaţiul de montare disponibil;
— caracteristicile electrice şi anume: tensiunea nominală şi curentul nominal;
— caracteristicile mecanice şi anume: forţa de acţionare, cursă, viteza de deplasare a organului de acţionare şi frecvenţa de acţionare;
— posibilităţile de legare la borne cu şurub sau cu lipitură;
— modul de fixare;
— mediul ambiant.

La montare trebuie evitată cu grijă orice solicitare mecanică a aparatului superioară celei prescrise.

La fixarea aparatului se vor folosi numai găurile prevăzute în acest scop, iar şuruburile se vor strînge definitiv numai după ce se verifică că organul de acţionare nu solicită defectuos microîntreruptorul, datorită montării într-un loc sau într-o poziţie necorespunzătoare.

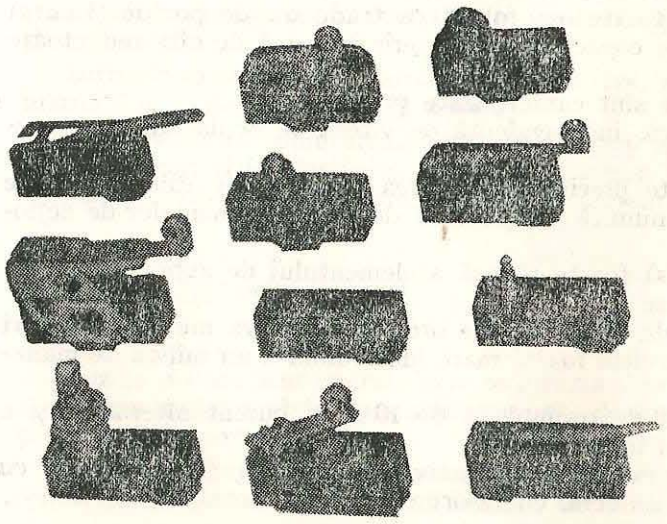


Fig. 10.14. Microîntreruptoare cu diferite elemente cinematice.

Totodată trebuie avut grijă la montare ca din cauza unui spaţiu mic şi a îndoirii conductoarelor de legătură acestea să nu iasă din borne (fie de sub şurub, fie să se dezlipească) şi în felil acesta circuitul să se întrerupă.

Întrucît bornele sînt apropiate, foaia de polietilenă dintre borne trebuie păstrată în bună stare, deoarece le asigură distanţa de conturnare şi evită scurtcircuitarea bornelor.

Microîntreruptoarele cu tijă şi simple cu buton nu vor fi acţionate decît prin elemente care dau o forţă axială cu butonul. Este complet greşit ca ele să fie acţionate cu came sau patine, deoarece apare o componentă orizontală care duce la frecarea tijei în ghidaj şi prin aceasta la uzură şi eventual la blocarea butonului. Cele cu bilă, la care bila se poate rostogoli, pot fi acţionate ca patină sau cu camă. Este preferabil însă ca în astfel de cazuri să se utilizeze microîntreruptoarele cu braţ, cu sau fără rolă, care prin elasticitatea lamelei protejează mai bine aparatul în cazul depăşirii forţei sau cursei prescrise.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. *Ce funcţii îndeplinesc aparatele electrice în instalaţii?*
2. *Ce sînt serviciile standardizate?*
3. *Ce este capacitatea de comutaţie?*
4. *Ce este durata de conectare?*
5. *Ce deosebire este între străpungere şi conturnare?*
6. *Care este încălzirea unei bare de alamă cu diametrul de* 20 mm *la trecerea unui curent de* 800 A, *ştiindu-se că* $\rho = 8 \cdot 10^{-6}$ Ωcm *şi* $K = 10^{-3}$W/cm² · *K?*
7. *Ce efecte pot avea forţele electrodinamice?*
8. *Care sînt condiţiile normale de mediu?*
9. *Ce sînt întreruptoarele cu pîrghie?*
10. *Principiul constructiv al întreruptoarelor pachet?*
11. *Principiul constructiv al întreruptoarelor cu came?*
12. *Principiile constructive ale separatoarelor?*
13. *De cîte tipuri sînt întreruptoarele de instalaţii după modul de montare?*
14. *Care sînt condiţiile obligatorii pentru construcţia prizelor şi fişelor industriale?*
15. *Ce date definesc construcţia microîntreruptoarelor?*

CAPITOLUL 11

PROTECȚIA MUNCII ÎN LUCRĂRILE DE MONTAJ, ÎNTREȚINERE ȘI EXPLOATARE A INSTALAȚIILOR ELECTRICE

A. GENERALITĂȚI

Protecția muncii este un ansamblu de măsuri tehnice, sanitare și organizatorice, ăvînd ca scop ocrotirea vieții și sănătății celor ce muncesc în timpul procesului de producție și asigurarea unor condiții optime de muncă.

În țara noastră statul acordă o deosebită atenție creării la locul de muncă a unor condiții nepericuloase, care să asigure deplina securitate a muncii.

Spre deosebire de cele mai multe tipuri de instalații, la care pericolele posibile sînt sesizate de simțurile omenești, la instalațiile electrice, tensiunea electrică nu poate fi astfel sesizată, pentru ca omul să fie prevenit asupra pericolului posibil.

B. EFECTELE CURENTULUI ELECTRIC ASUPRA CORPULUI OMENESC

În cazul în care omul atinge simultan două corpuri bune conducătoare de electricitate între care există o diferență de potențial electric, de exemplu două conductoare electrice neizolate, corpul său va fi străbătut de un curent electric, accident care se numește *electrocutare*.

Electrocutarea poate avea loc prin atingerea directă a părților din circuitele electrice (fig. 11.1, *a*, *b*), sau prin atingere indirectă, adică atingerea unei părți metalice care nu face parte din circuitul electric, dar este pus accidental sub tensiune, de exemplu carcasa unui motor electric cu izolația înfășurării deteriorată (fig. 11.1, *c*).

Tensiunea la care este supus omul la atingerea unui obiect intrat accidental sub tensiune este numită *tensiune de atingere*.

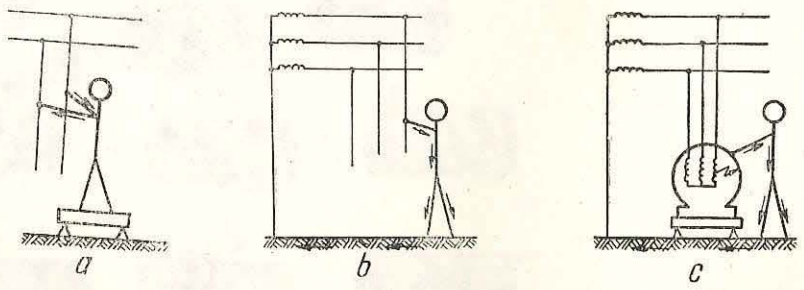


Fig. 11.1. Accidentarea prin electrocutare:
a — atingere directă mînă-mînă; *b* — atingere directă mînă-picior; *c* — atingere indirectă mînă-picior.

Efectele trecerii curentului electric prin corpul omului sînt: *șocul electric* și *electrotraumatismele*.

Șocul electric. Cînd valoarea curentului ce străbate corpul este sub 1 mA, omul nu simte trecerea acestuia.

La valori mai mari, pînă la 10 mA, au loc comoții nervoase la mîinile și picioarele prin care trece curentul; se manifestă contracții ale mușchilor de la mîini, astfel încît omul se desprinde cu efort de obiectul aflat sub tensiune. Accidentul poate fi însoțit de acțiuni necontrolate de apărare, care pot conduce la dezechilibrarea și căderea omului de la înălțime.

Peste 10 mA, omul nu se mai poate desprinde singur de obiectul sub tensiune și se poate produce șocul electric, curentul putînd acționa asupra sistemului nervos sau inimii.

Acțiunea curentului electric asupra sistemului nervos poate avea ca efecte mai grave oprirea respirației.

Acțiunea asupra inimii produce fibrilația inimii, adică contractarea și destinderea dezordonată și cu frecvență mare a mușchiului inimii. Ambele acțiuni, dacă nu sînt oprite într-un timp suficient de scurt, produce moartea accidentatului.

Electrotraumatismele sînt cauzate de arcurile electrice care pot apărea de exemplu, la scurtcircuitarea accidentală a circuitelor electrice. Ele pot, provoca orbirea, metalizarea pielii sau arsuri care pot distruge pielea, mușchii sau chiar oasele. Dacă arsurile se produc pe o suprafață mare, sau ating organe vitale, pot provoca moartea accidentatului.

Factorii de care depinde gravitatea electrocutării sînt:

— *Rezistența electrică a corpului omului*. Ea poate fi considerată egală în mediu cu 1 000 Ω, și depinde în cea mai mare măsură de starea pielii. Cînd stratul cornos al pielii este intact și uscat, rezistența corpului omenesc poate avea valori mult mai mari. Cînd pielea este udă sau rănită, rezistența corpului omenesc poate scădea pînă la 200 Ω. Rezistența corpului omenesc scade o dată cu creșterea suprafeței de contact, a presiunii de contact, a umidității și temperaturii mediului înconjurător și a duratei de acțiune a curentului.

— *Calea de trecere a curentului prin corp*. Accidentul este mai periculos dacă în circuitul electric stabilit intră inima (mînă-mînă; sau mînă-picior) sau locuri de mare sensibilitate nervoasă (încheietura mîinii, ceafa, gîtul, tîmpla etc.).

— *Intensitatea curentului electric care trece prin corp*. Limita maximă a curenților nepericuloși se consideră de 10 mA în curent alternativ și 50 mA în curent continuu.

— *Tensiunea la care este supus omul*. Cu cît tensiune este mai mare, cu atît pericolul de electrocutare este mai mare.

— *Frecvența curentului electric*. Curentul continuu este mai puțin periculos decît curentul alternativ. Curentul alternativ cu frecvența între 10 și 100 Hz este cel mai periculos în ce privește producerea de excitații. La frecvențe foarte mari nu există efecte de excitație periculoase, chiar la intensități foarte mari. Aceste frecvențe (circa 500 000 Hz), sînt folosite la unele aparate electromedicale.

— *Durata de acțiune a curentului*. Cu cît această durată este mai mare, cu atît pericolul de fibrilație a inimii este mai mare. Dacă timpul este foarte scurt, de ordinul miimilor de secundă, nu se produce fibrilația. Practic se consideră că un accident poate fi mortal, dacă durata de acțiune a curentului depășește 0,1 s.

C. PROTECȚIA ÎMPOTRIVA ELECTROCUTĂRII

1. CLASIFICAREA LOCURILOR DE MUNCĂ ȘI A MĂSURILOR DE PROTECȚIE

La alegerea măsurilor pentru protecția împortiva electrocutărilor se au în vedere caracteristicile locurilor de muncă; acesta se clasifică în trei categorii, în funcție de gradul de pericol;

— *locuri de muncă foarte periculoase*, în care există cel puțin unul dintre următorii factori: umiditatea aerului peste 97%, temperatura peste 35°C, medii corozive, obiecte conductoare în legătură electrică cu pămîntul care ocupă o suprafață mai mare de 60% în zona de manipulare (spațiul în care omul poate ajunge cu mîna în toate direcțiile, fără mijloace ajutătoare speciale);

— *locuri de muncă periculoase*, în care există cel puțin unul dintre următorii factori: umiditatea aerului între 75 și 97%, temperatura între 30 și 35°C, pulbere conductoare (pilitură de metale, grafit etc.), obiecte conductoare în legătură electrică cu pămîntul care ocupă o suprafață sub 60% din zona de manipulare;

— *locuri de muncă cu grad mic de pericol*, caracterizate prin pardoseală izolatoare (lemn uscat, asfalt etc.), umiditatea pînă la 75%, temperatura între 15 și 30°C, și fără elemente conductoare în contact electric cu pămîntul.

Măsurile de protecție pot fi:

— *măsuri principale*, cînd pot asigura singure protecția necesară;

— *măsuri suplimentare*, cînd completează măsurile principale pentru realizarea unei protecții sigure.

2. PROTECȚIA ÎMPOTRIVA ELECTROCUTĂRILOR PRIN ATINGERE DIRECTĂ

Principalele măsuri pentru evitarea electrocutărilor prin atingere directă involuntară sînt:

— *proiectarea și construirea instalațiilor și echipamentelor electrice astfel, încît elementele aflate normal sub tensiune* (conductoare, borne, bare) *să nu poată fi atinse întîmplător, iar producerea unor arcuri electrice să nu poată da loc la arsuri*. Pentru aceasta se folosește închiderea în carcase de protecție împotriva atingerii, izolarea electrică a elementelor sub tensiune, amplasarea conductoarelor la înălțimi inaccesibile atingerii întîmplătoare, îngrădiri care să nu permită trecerea persoanelor spre elementele aflate sub tensiune, blocări electrice și mecanice în instalație;

— *folosirea unor pardoseli din materiale izolante*;

— *folosirea unor tensiuni reduse* (v. paragraful 3).

3. PROTECȚIA ÎMPOTRIVA ELECTROCUTĂRII PRIN ATINGERE INDIRECTĂ

Pentru evitarea electrocutării prin atingerea unor elemente aflate accidental sub tensiune se iau una sau cel mult două dintre următoarele măsuri:

Legarea la nul constituie o măsură principală de protecție pentru utilajele fixe sau mobile, alimentate de la rețele cu nul, care au punctul neutru

al sursei de alimentare legat la pămînt. Carcasele metalice ale echipamentelor electrice sînt legate printr-un conductor de secțiune suficient de mare, la conductorul de nul de protecție (fig. 11.2).

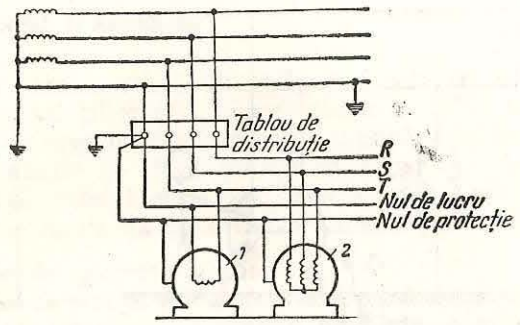


Fig. 11.2. Legarea la nul de protecție:
1 — receptor monofazat; *2* — receptor trifazat.

Dacă are loc un defect, de exemplu străpungerea izolației între o fază și carcasă, are loc practic un scurtcircuit între fază și conductorul de nul de protecție. Curentul de scurtcircuit este mare, topește fuzibilul siguranței sau determină deconectarea întreruptorului automat care protejează circuitul respectiv, scoțînd astfel de sub tensiune carcasa. Pînă la declanșarea sau topirea fuzibilului, tensiunea de atingere a carcasei este menținută la valori nepericuloase.

Pentru realizarea unei protecții corecte prin legarea la nul trebuie să se respecte, în principal, următoarele condiții:

— *legarea suplimentară la pămînt a anumitor puncte ale rețelei de nul*, pentru a se evita pericolul ce s-ar ivi prin întreruperea rețelei de nul de protecție. În cazul unei astfel de întreruperi, toate carcasele echipamentelor legate la nul pe partea întreruptă ar rămîne fără protecție. Cele mai importante puncte care trebuie legate la pămînt sînt tablourile de distribuție, iar în cazul liniilor aeriene, toate punctele de ramificare, capetele liniilor și puncte pe traseu la distanțe de maxim 1 km;

— *separarea nulului de protecție de nulul de lucru*. De la ultimul tablou de distribuție în sensul transportului de energie (tablou care are borna de nul legată la pămînt) și pînă la echipamentele protejate, nulul de protecție nu poate fi folosit și drept nul de lucru (fig. 11.2);

— *evitarea pericolului ce ar apărea prin inversarea rolului conductoarelor* (inversarea unui conductor de fază sau nulului de lucru, cu conductorul de protecție);

— la instalațiile alimentare de la aceeași sursă *este interzis să se folosească pentru o parte a instalațiilor protecția prin legare la nul, iar pentru altă parte, protecția prin legare la pămînt*, deoarece pot apărea tensiuni de atingere periculoase la instalațiile legate la nul.

Legarea la pămînt constituie o măsură principală de protecție pentru utilajele și aparatele fixe sau mobile, mai ales a celor alimentate de la rețele izolate față de pămînt. Se poate folosi ca mijloc suplimentar de protecție în instalațiile de protecție prin legare la nul. Carcasele metalice ale echipamentelor electrice sînt legate printr-un conductor de legare la pămînt la o priză de pămînt (fig. 11.3). Curentul de defect se închide prin rezistența izolației rețelei față de pămînt R_{iz} și în cea mai mare parte prin instalația de legare la pămînt, iar tensiunea de atingere rămîne nepericuloasă. Ea este cu atît mai mică, cu cît rezistența instalației de legare la pămînt este mai mică.

Separarea de protecție are ca scop alimentarea receptorului cu un circuit izolat față de pămînt și separat (izolat) față de rețea. Se realizează cu aju-

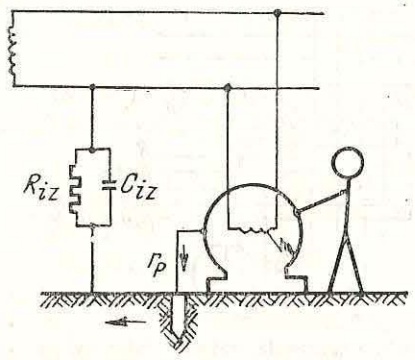


Fig. 11.3. Legarea la pămînt.

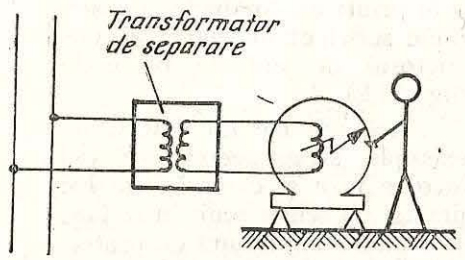


Fig. 11.4. Separare de protecţie.

torul unui transformator de separare, care alimentează un singur receptor (fig. 11.4).

În cazul unui defect, curentul care se închide prin om este foarte mic, deoarece trebuie să se închidă prin izolaţia circuitului de alimentare. Izolaţia cablurilor de alimentare trebuie însă să fie totdeauna în stare bună.

Izolarea suplimentară de protecţie constă din prevederea unei izolaţii suplimentare faţă de izolaţia obişnuită de lucru a receptorului. Ea se poate realiza izolîndu-se suplimentar receptorul fie prin aplicarea unei izolaţii suplimentare între izolaţia obişnuită de lucru şi carcasă care poate fi atinsă de om, fie prin aplicarea unui înveliş izolant de protecţie pe carcasa receptorului, sau se poate realiza prin izolarea locului de muncă (între om şi pămînt), folosindu-se covoare izolante.

Folosirea tensiunilor reduse poate constitui o măsură principală de protecţie la utilajele portabile, folosindu-se tensiuni reduse de alimentare, alese în funcţie de categoria locului de muncă (24 V în locuri foarte periculoase).

Tensiunea redusă se obţine fie prin surse separate (acumulatoare, baterii), fie prin transformatoare coborîtoare de protecţie, care realizează şi o separare de reţea. Este interzisă folosirea autotransformatoarelor. Cînd se foloseşte tensiunea redusă, este interzisă legarea la pămînt sau la masă a vreunui punct din circuitul de tensiune redusă şi este interzisă legarea la pămînt a receptorului.

Egalizarea potenţialelor este numai o măsură suplimentară de protecţie şi constă în legarea între ele a tuturor obiectelor metalice ce pot fi atinse concomitent în zona de manipulare a omului. În acest mod, toate punctele ce pot fi atinse de om au acelaşi potenţial, iar tensiunea de atingere, nulă. De exemplu, în cazul protecţiei principale prin legarea la nul se realizează şi protecţia suplimentară prin egalizarea potenţialelor, legîndu-se între ele toate carcasele echipamentelor electrice şi toate elementele metalice din zona de manipulare a omului.

Protecţia prin deconectare automată este o măsură suplimentară de protecţie ce se realizează prevăzîndu-se relee de protecţie, care deconectează automat circuitele electrice în cazul apariţiei unor curenţi de defect periculoşi (PACD) sau în cazul apariţiei unor tensiuni de atingere periculoase (PATA).

4. PROTECŢIA LA LUCRĂRILE DE ÎNTREŢINERE ŞI REPARAŢII

Pentru protecţia electricienilor care lucrează direct la elemente ce fac parte din circuitele electrice ale instalaţiilor şi echipamentelor se folosesc mijloace de protecţie individuală, iar organizarea locului de muncă şi eşalonarea operaţiilor se stabilesc în funcţie de tipul instalaţiei, tensiunea de lucru, gradul de pericol al încăperii, felul lucrării etc. Toate acestea sînt descrise pe larg în instrucţiunile de lucru specifice fiecărei instalaţii.

Principalele măsuri şi mijloace de protecţie sînt:

— *îngrădirea provizorie a locului de muncă sau a elementelor sub tensiune aflate în apropierea locului de muncă*, folosindu-se panouri mobile de îngrădire şi plăci de avertizare pentru prevenire;

— *scoaterea de sub tensiune a instalaţiei electrice înaintea oricărei lucrări de reparaţie*, folosindu-se toate aparatele din instalaţie care permit aceasta (întreruptoare, separatoare, siguranţe). Lucrul sub tensiune se execută numai în mod excepţional, numai la instalaţii pînă la 250 V, folosindu-se mijloace de protecţie electroizolante şi participînd la lucrare şi o persoană pentru supraveghere;

— *asigurarea unei protecţii contra apariţiei accidentale a tensiunii la locul de muncă*, prin montarea la partea deconectată a instalaţiei, a unor scurtcircuitoare mobile legate la pămînt;

— *verificarea prezenţei sau lipsei de tensiune* cu indicatoare mobile de tensiune;

— *utilizarea unor mijloace de avertizare şi semnalizare pentru prevenirea de pericole sau interzicerea unor manevre*, de exemplu, închiderea unor aparate prin care s-a scos de sub tensiune o instalaţie în vederea unor lucrări;

— *utilizarea unor mijloace de protecţie contra electrocutării*, cum sînt: mănuşi, galoşi, cizme, covoare şi platforme electroizolante, scule cu mînere izolante etc.;

— *utilizarea mijloacelor de protecţie contra traumatismelor* (centură şi frînghie de siguranţă, cască de protecţie, ochelari de protecţie etc.).

Înainte de punerea în funcţiune şi periodic în timpul funcţionării, instalaţiile electrice se verifică, în vederea înlăturării unor pericole (în principal rezistenţa de izolaţie, corecta execuţie a legăturilor, montarea corectă a siguranţelor calibrate).

D. ACORDAREA PRIMULUI AJUTOR ÎN CAZ DE ELECTROCUTARE

Salvarea accidentatului depinde de rapiditatea cu care acesta este scos de sub tensiune şi i se face respiraţia artificială. Intervenţia după un minut creează şanse de salvare de 95%, în timp ce după 8 min şansele scad la 0,5%.

Acordarea primului ajutor constă din *scoaterea accidentatului de sub tensiune* şi *efectuarea respiraţiei artificiale*.

Scoaterea accidentatului de sub tensiune. Pentru aceasta se scoate de sub tensiune instalaţia acţionîndu-se întreruptorul care o alimentează. La liniile aeriene se poate arunca peste conductoarele liniei un conductor neizolat, care în prealabil a fost legat la pămînt.

În instalaţiile de joasă tensiune, dacă nu este posibilă deconectarea instalaţiei, se îndepărtează accidentatul de părţile sub tensuine şi salvatorul

trebuie să ia măsuri să nu fie electrocutat, folosind mănuşi sau cizme izolante, călcînd pe un covor izolant, o scîndură uscată sau pe haine uscate. Se recomandă ca intervenţia să se facă cu o singură mînă şi să se apuce de hainele accidentatului, dacă sînt uscate.

Efectuarea respiraţiei artificiale. Dacă accidentatul încă respiră, este întins, i se deschid hainele şi eventual fricţionat pe corp. Dacă accidentatul nu mai respiră, i se face imediat respiraţia artificială, care va fi continuată timp îndelungat, chiar 8—10 h, fără întrerupere. Decesul poate fi constatat numai de medic.

Pentru efectuarea respiraţiei artificiale se poate folosi una dintre metodele manuale sau metoda gură-gură sau gură-nas. *Metoda manuală de respiraţie artificială* care poate fi aplicată de o singură persoană, este următoarea:

— se aşază accidentatul culcat, cu spatele în sus cu capul pe o mînă, cu faţa într-o parte şi mîna cealaltă de-a lungul corpului;

— se scoate limba accidentatului afară, folosindu-se la nevoie un lemn introdus între măsele (nu între dinţii din faţă);

— salvatorul se aşază în genunchi deasupra accidentatului, cu faţa spre capul lui, cuprinzînd între genunchi coapsele acestuia, şi îşi aşază palmele pe coapsele inferioare apucîndu-l lateral cu degetele răsfirate, degetele mari fiind paralele cu coloana vertebrală;

— salvatorul se apleacă înainte cu mîinile întinse, numărînd rar pînă la trei, realizînd astfel respiraţia;

— se revine brusc la poziţia iniţială pentru a intra aer în plămîni (inspiraţia) şi se numără rar 4, 5, 6;

— se repetă ciclul cu o frecvenţă de 12—15 apăsări pe minut.

VERIFICAREA CUNOŞTINŢELOR

1. *Care sînt măsurile de protecţie împotriva electrocutării prin atingere directă?*
2. *Care sînt măsurile de protecţie împotriva electrocutării prin atingere indirectă?*
3. *Care sînt principalele măsuri de protecţie în lucrările de întreţinere şi reparaţii?*

CUPRINS

Cap. 1. **Introducere** 3
Cap. 2. **Rezistoare** 5
A. *Generalităţi* 5
1. Definiţii 5
2. Clasificare 5
3. Parametrii nominali 5
4. Reprezentarea convenţională a rezistoarelor 6
5. Marcarea rezistoarelor 6
B. *Rezistoare pentru curenţi slabi* 9
1. Rezistoare bobinate 9
2. Rezistoare chimice . 10
3. Potenţiometre . . . 11
4. Rezistoare neliniare 11
C. *Rezistoare pentru curenţi tari* 12
1. Rezistoare fixe . . . 12
2. Rezistoare reglabile (reostate) 15
3. Rezistoare pentru încălzire 17
Cap. 3. **Condensatoare** 20
A. *Generalităţi* 20
1. Definiţii 20
2. Clasificare 20
3. Caracteristicile principale 21
4. Reprezentarea convenţională a condensatoarelor 22
5. Marcarea condensatoarelor 22
6. Utilizarea condensatoarelor 24
B. *Construcţia condensatoarelor* 25
1. Condensatoare cu dielectric gazos . . 25
2. Condensatoare cu dielectric solid . . . 26
3. Condensatoare electrolitice 28
4. Condensatoare industriale 29
Cap. 4. **Bobine** 34
A. *Generalităţi* 34
1. Definiţii 34
2. Clasificare 35
3. Parametrii nominali 35
B. *Construcţia bobinelor* . . 36
1. Materiale folosite la construcţia bobinelor 36
2. Bobine pentru înaltă frecvenţă 36
3. Bobine pentru joasă frecvenţă 38
4. Bobine de audiofrecvenţă 41
5. Bobine de inducţie 44
Cap. 5. **Contacte electrice** 46
A. *Generalităţi* 46
B. *Construcţia contactelor* 46
1. Materiale pentru contacte 46
2. Forme constructive 47
3. Vibraţia contactelor 49
C. *Întreţinerea şi repararea contactelor* 49
Cap. 6. **Elemente componente ale maşinilor şi transformatoarelor electrice** 50
A. *Rolul şi clasificarea maşinilor electrice* 50
1. Rolul maşinilor electrice 50
2. Tipuri de maşini electrice. Funcţionare . 50
3. Clasificarea maşinilor electrice 51
4. Răcirea maşinilor electrice 52
5. Protecţia maşinilor electrice 53
6. Părţile componente principale ale maşinilor electrice . . . 54
7. Caracteristici nominale 56
B. *Miezurile magnetice ale maşinilor electrice* . . . 57
1. Clasificare. Materiale utilizate 57
2. Tipuri de circuite magnetice 57
3. Polii maşinilor electrice 59
4. Miezuri stator lamelate pentru maşini sincrone şi asincrone 60
5. Miezuri stator lamelate pentru maşini de curent continuu 62
6. Miezuri rotor lamelate pentru maşini de curent continuu şi asincrone 62
7. Miezuri rotor pentru maşini sincrone . . . 63
C. *Înfăşurările maşinilor electrice* 63
1. Clasificare. Materiale utilizate 63
2. Bobine polare (pentru înfăşurări concentrate) 64
3. Înfăşurări repartizate 66
4. Înfăşurări în scurtcircuit 71
5. Impregnarea şi acoperirea înfăşurărilor 72

D. *Conexiunile înfăşurărilor, semne convenţionale şi marcarea bornelor la maşini electrice* 72
1. Conexiunile înfăşurărilor 72
2. Marcarea bornelor 73
3. Semne convenţionale 74
E. *Rolul şi clasificarea transformatoarelor electrice* 77
1. Rolul transformatoarelor electrice . . 77
3. Clasificarea transformatoarelor electrice 77
3. Părţile componente principale ale transformatorului 78
4. Caracteristici nominale 78
F. *Circuite magnetice (miezuri magnetice) pentru transformatoare* 79
1. Clasificare. Materiale utilizate 79
2. Construcţia circuitelor magnetice pentru transformatoare . . . 80
G. *Înfăşurările transformatoarelor* 82
1. Clasificare. Materiale utilizate 82
2. Tipuri de înfăşurări pentru transformatoare 83
3. Izolarea şi montarea înfăşurărilor 85
H. *Marcarea bornelor, conexiunilor transformatoarelor şi semne convenţionale* 85
1. Marcarea bornelor 85
2. Conexiunile transformatoarelor trifazate 86
3. Semne convenţionale 86
I. *Transformatoare mici* . 87
1. Tipurile şi caracteristicile transformatoarelor mici 87
2. Construcţia transformatoarelor mici . . 88

Cap. 7. **Termobimetale** 91
A. *Principiul de funcţionare* 91
B. *Materiale folosite* . . . 91
C. *Tipuri de bimetale* . . . 92
D. *Exploatarea elementelor bimetalice* 93

Cap. 8. **Izolatoare şi piese izolante** 94
A. *Generalităţi* 94
B. *Materiale folosite* . . . 94
1. Materiale ceramice 95
2. Materiale plastice 95
C. *Întreţinerea şi repararea izolatoarelor* 96

Cap. 9. **Electromagneţi** 98
A. *Principiul de funcţionare. Construcţia* . . . 98
B. *Forme şi caracteristici funcţionale* 99
C. *Întreţinerea* 101

Cap. 10. **Aparate de conectare în instalaţii de joasă tensiune** 102
A. *Rolul şi importanţa aparatelor electrice* 102
B. *Clasificarea aparatelor electrice* 102
C. *Mărimile caracteristice principale ale aparatelor electrice* 103
D. *Solicitări la care sînt supuse aparatele electrice* 105
1. Solicitări electrice . 105
2. Solicitări termice . . 106
3. Solicitări electrodinamice 106
4. Influenţa mediului în care lucrează aparatele 107
E. *Semne convenţionale pentru aparate electrice* . . 110
F. *Aparataj de instalaţii* 110
G. *Întreruptoare cu pîrghie* 114
H. *Separatoare* 116
I. *Întreruptoare şi comutatoare pachet* 116
J. *Comutatoare cu came* . . 119
K. *Prize şi fişe industriale* 120
L. *Microîntreruptoare* . . . 121

Cap. 11. **Protecţia muncii în lucrările de montaj, întreţinere şi exploatare a instalaţiilor electrice** 124
A. *Generalităţi* 124
B. *Efectele curentului electric asupra corpului omenesc* 124
C. *Protecţia împotriva electrocutării* 126
1. Clasificarea locurilor de muncă şi a măsurilor de protecţie a muncii 126
2. Protecţia împotriva electrocutării prin atingere directă . . . 126
3. Protecţia împotriva electrocutării prin atingere indirectă . 126
4. Protecţia la lucrările de întreţinere şi reparaţii 128
D. *Acordarea primului ajutor în caz de electrocutare* 129